

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água



Dissertação

**Qualidade Estrutural na Camada Superficial de um Argissolo Vermelho-
Amarelo sob Diferentes Usos**

Rodrigo Brum de Paiva

Pelotas, 2016

Rodrigo Brum de Paiva

**Qualidade Estrutural na Camada Superficial de um Argissolo Vermelho-
Amarelo sob Diferentes Usos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Dr^a Cláudia Liane Rodrigues de Lima

Co-Orientadora: Dr^a Maria Cândida Moitinho Nunes

Pelotas, 2016

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

P142q Paiva, Rodrigo Brum de

Qualidade estrutural na camada superficial de um argissolo vermelho-amarelo sob diferentes usos / Rodrigo Brum de Paiva ; Cláudia Liane Rodrigues de Lima, orientadora ; Maria Cândida Moitinho Nunes, coorientadora. — Pelotas, 2016.

103 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Qualidade do solo resistência. 2. Carbono orgânico. 3. Resistência tênsil. 4. Resistência à penetração. I. Lima, Cláudia Liane Rodrigues de, orient. II. Nunes, Maria Cândida Moitinho, coorient. III. Título.

CDD : 631.4

Data da defesa: 24 de fevereiro de 2016.

Banca examinadora:

Professora Dr^a Cláudia Liane Rodrigues de Lima (Presidente)
Departamento de Solos - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" - UFPel

Professora Dr^a Maria Cândida Moitinho Nunes
Departamento de Solos - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" – UFPel

Professor Dr Luís Carlos Timm
Departamento de Engenharia Rural - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" – UFPel

Professor Dr Álvaro Luiz Carvalho Nebel
Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Campus Visconde da Graça / Pelotas.

Aos meus avós, Mario e Ilma, Francisco e Aixa, aos
meus pais, Nicanor e Anelice dedico.

Agradecimentos

A todos que, direta ou indiretamente contribuíram para elaboração deste trabalho, o agradecimento em particular:

A Prof.^a Cláudia Liane Rodrigues que por sua competência, experiência e apoio, orientou-me na concretização deste mestrado, tornando-se mais que uma orientadora, uma amiga, minha admiração e respeito. Agradeço também por estimular minha participação em experiências profissionais que vão muito além dos protocolos de pesquisas, estas possuem valores imensuráveis.

A minha co-orientadora Prof.^a. Maria Cândida, que desde o primeiro contato confiou em mim. Foi muito mais que co-orientadora, sempre incentivando a ir mais longe e explorar cada vez mais os resultados.

A todos os colaboradores do laboratório de Física dos Solos que estiveram envolvidos na execução deste estudo, em especial ao Paulo, Rose, Leonir, Patrícia, Wildon, Diony, Taís e Dona Ana. Agradeço por todas as articulações necessárias. Poder contar com todos foi fundamental.

Aos colegas do PPG MACSA: Ana Paula, Afrânio, Alex, Cristiano, Diego, Gabriel, Ivana, Jéssica, Leandro, Luciano, Suelen, Daniela, Jaqueline, Renata, Aline, Marcelo, Vairton e Marcos.

Aos professores do PPG MACSA: Rogério, Ledemar, Eloy, Cláudia, Rodrigo, Rita, Vitor, Fioravante, Danilo e Pablo.

Aos membros da Banca Examinadora, Prof. Álvaro e Prof. Luís Carlos, pelas valiosas contribuições e sugestões que qualificaram esta dissertação.

A CAPES, parceira pelo apoio financeiro, o qual foi necessário para o desenvolvimento desta pesquisa.

A natureza, fonte constante de inspiração, a qual incansavelmente dedico todo meu amor, minha preocupação e, eternamente, meu trabalho.

Por fim não menos importante, a minha família, Nicanor, Anelice, Jeison, Maurício e minha companheira, Mariana, pelo incentivo e apoio em todas as etapas da construção deste trabalho.

Resumo

PAIVA, Rodrigo Brum. **Qualidade Estrutural de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob Diferentes Usos**. 2015. 103f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas.

A pecuária leiteira é uma alternativa de renda dos produtores no Sul do Brasil. Entretanto, o pisoteio animal e, ou o preparo podem alterar as características físicas estruturais do solo, prejudicando o crescimento radicular e a produtividade agrícola. Parâmetros físicos como resistência tênsil, friabilidade, densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e resistência à penetração têm sido utilizados para avaliar a qualidade estrutural. O objetivo deste estudo foi quantificar a resistência tênsil (RT), a friabilidade (F), a densidade (Ds), a porosidade total (Pt), a macroporosidade (Ma), a microporosidade (Mi), a resistência à penetração (RP) e o teor de carbono orgânico total (COT) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e diferentes posições no relevo. O estudo foi realizado em 2014, em uma propriedade agrícola na zona rural, do município de Pelotas, no RS. As amostras foram coletadas na camada de 0,00 a 0,10 m. Para a avaliação da RT, foram selecionados 900 amostras por tratamento, com um total de 2.700 agregados. Amostras com estrutura preservada foram coletadas aleatoriamente utilizando anéis volumétricos de 5 cm de altura e de diâmetro para a avaliação da densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e resistência à penetração, perfazendo 135 amostras. Pelo método de combustão seca e com auxílio de um analisador elementar, quantificou-se o carbono orgânico total (COT) em 45 agregados. Os menores valores de RT, RP e de Ds foram verificados no solo sob pousio e os maiores sob pastagem. Foi verificada uma relação inversa significativa dos teores de COT em relação a RT. A RT, RP, Ds e o COT foram influenciados pelos sistemas de usos, caracterizando uma redução da qualidade proporcionalmente à intensidade de utilização do solo. Apenas os atributos Ds e RP nos usos do solo sob pousio e milho foram sensíveis na avaliação das diferentes posições no relevo.

Palavras-chave: qualidade do solo, carbono orgânico, resistência tênsil, resistência à penetração.

Abstract

PAIVA, Rodrigo Brum. **Structural quality of a red yellow Alfisol under different uses**. 2015. 103f. Dissertation (Master degree) – Post- Graduate Program of Soil and Water Conservation and Management. Federal University of Pelotas, Pelotas - Brazil.

The dairy farming is an alternative income of producers in southern Brazil. However, animal trampling and, or, the preparation can change the structural physical characteristics of the soil, damaging root growth and agricultural productivity. Physical parameters such as tensile strength, friability, soil bulk density, porosity, macroporosity, microporosity and penetration resistance have been used to assess the structural quality. The aim of this study was to quantify the tensile strength (TS), the friability (F), soil bulk density (Bd), total porosity (Pt), macroporosity (Ma), microporosity (Mi), the penetration resistance (PR) and the total organic carbon (TOC) content of an Alfisol under different uses and different positions in the landscape. The study was conducted in 2014, an agricultural property in the Pelotas city, RS-Brazil. The samples were collected in the layer from 0.00 to 0.10 m. To assess the tensile strength, 900 samples were selected per treatment, with a total of 2,700 aggregates. Samples with preserved structure were collected randomly using volumetric rings of 5 cm in height and diameter to assess the density, total porosity, macroporosity and microporosity and penetration resistance, totaling 135 samples. Using dried combustion method and with the aid of an elemental analyzer, the total organic carbon was quantified in 45 aggregates. The smallest and the largest TS, PR and Bd were found in the soil under fallow and pasture respectively. A significant inverse relationship between the TOC levels in relation to TS was verified. TS, PR, Bd and TOC were influenced by the use systems, featuring a reduced quality in proportion to the intensity of land use, featuring a reduced quality in proportion to the intensity of soil use. Only attributes PR and Bd in soil use under fallow and maize were sensitive in the evaluation of different positions in relief.

Keywords: soil quality, organic carbon, tensile strength, resistance to penetration.

Lista de figuras

- Figura 1** - Agregado natural (H) fixado a metades (E e F) de um recipiente por meio de “plasterof Paris” (mistura de calcário, areia e água) (G). O agregado é submetido à tração (P), sendo separado em duas partes. Fonte: Dexter e Watts (2000).....21
- Figura 2** - Fissura C formada entre os dois pontos de aplicação da força (P) devido ao estresse tênsil (Y) que atua no centro da amostra. Fonte: Dexter e Watts (2000).....21
- Figura 3** – Delimitação da propriedade agrícola (linha vermelha), os números no interior da figura indicam os diferentes usos do solo. 1 - cultivo de pastagem; 2 – cultivo de milho; 3 - Pousio; 4 - Açude; 5 - Benfeitorias; 6 - Áreas de Interesse Ambiental. Fonte: Google Earth (2015).....28
- Figura 4** – Diferentes posições no relevo (cores preto, azul e vermelho).....29
- Figura 5** – Delimitação da propriedade agrícola (linha vermelha) e dos diferentes usos de solo (cores amarelo, verde e marrom). Fonte: Google Earth (2015). ..30
- Figura 6** – Pontos georreferenciados de coleta de amostras de solo com estrutura alterada e inalterada. Fonte: Google Earth (2015).31
- Figura 7** - Valores médios de resistência tênsil dos agregados de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.39
- Figura 8** - Valores médios de friabilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.40
- Figura 9** - Valores médios de densidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.41
- Figura 10** - Valores médios de porosidade total de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.43
- Figura 11** - Valores médios de macroporosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.44

Figura 12 - Valores médios de microporosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas de letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.	46
Figura 13 - Valores médios de resistência à penetração de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.	47
Figura 14. Teores médios do carbono orgânico total de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob os usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.	48
Figura 15 – Análise de regressão linear entre os parâmetros carbono orgânico total e resistência tênsil dos agregados de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. (modelo ajustado é significativo a $P \leq 0,05$ pelo teste F).....	49
Figura 16 – Análise de regressão linear entre os parâmetros carbono orgânico total e densidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. (modelo ajustado é significativo a $P \leq 0,05$ pelo teste F).....	50
Figura 17 – Análise de regressão linear dos parâmetros Ds e RP de de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob uso pousio nas diferentes topossequências (modelo ajustado é significativo a $P \leq 0,05$ pelo teste F).	55
Figura 18 – Análise de regressão linear dos parâmetros Ds e RP do solo para o uso milho nas diferentes topossequências (modelo ajustado é significativo a $P \leq 0,05$ pelo teste F).	55

Lista de tabelas

Tabela 1 – Categorias de classificação quanto a friabilidade do solo.....	22
Tabela 2 – Frações granulométricas de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e topossequências na camada de 0,00 a 0,10 m, Pelotas-RS..	34
Tabela 3 – Momentos estatísticos da resistência tênsil (RT, kPa), friabilidade (F, adimensional), densidade do solo (Ds, Mg m ⁻³), porosidade total (Pt, m ³ m ⁻³), macroporosidade (Ma, m ³ m ⁻³), microporosidade (Mi, m ³ m ⁻³), resistência à penetração (RP, kPa) e teor de carbono orgânico total (COT, g kg ⁻¹) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos, na camada de 0,00 a 0,10 m, Pelotas-RS.	37
Tabela 4 – Valores da resistência tênsil (RT, kPa), friabilidade (F, adimensional), porosidade total (Pt, m ³ m ⁻³), macroporosidade (Ma, m ³ m ⁻³), microporosidade (Mi, m ³ m ⁻³) e teor de carbono orgânico total (COT, %) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob mesmo usos, e diferentes topossequências na camada de 0,00 a 0,10 m, Pelotas-RS.	52
Tabela 5 – Valores médios da densidade do solo (Ds, Mg m ⁻³) e da resistência à penetração (RP, MPa) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob mesmos usos e diferentes topossequência, na camada de 0,00 a 0,10 m, Pelotas-RS.....	54

Sumário

1 INTRODUÇÃO GERAL	113
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 PECUÁRIA LEITEIRA	16
3.2 INDICADORES DA QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO.....	18
3.2.1 RESISTÊNCIA TÊNSIL DE AGREGADOS E FRIABILIDADE DO SOLO	19
3.2.2 DENSIDADE, POROSIDADE E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO.....	23
3.2.3 CARBONO ORGÂNICO.....	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 LOCALIZAÇÃO	27
4.2 COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO	29
4.3 AVALIAÇÕES DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	31
4.3.1 RESISTÊNCIA TÊNSIL DE AGREGADOS	322
4.3.2 FRIABILIDADE	322
4.3.3 DENSIDADE DO SOLO, POROSIDADE TOTAL, MACROPOROSIDADE E MICROPOROSIDADE.....	333
4.3.4 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO.....	333
4.3.5 CARBONO ORGÂNICO TOTAL	344
4.3.6 DETERMINAÇÕES COMPLEMENTARES	344
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	355
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	366
5.1 SISTEMAS DE USOS	366
5.2 DIFERENTES POSIÇÕES NO RELEVO	52

6. CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS	58
APÊNDICES.....	71

1 Introdução geral

No Brasil, a intensificação dos sistemas de produção de leite vem ocorrendo nas principais bacias leiteiras localizadas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. A pecuária leiteira caracteriza-se como uma atividade relevante e causadora de impacto ambiental, visto que a conversão da vegetação nativa (heterogênea) por áreas de pastagem (homogêneas) associada ao manejo de animais pode alterar os parâmetros físicos do solo (ARAÚJO et al., 2010).

As alterações ocorrem principalmente por forças que atuam no solo, classificadas como externas e internas. As externas resultam do tráfego de veículos, animais ou pessoas e o crescimento de raízes que empurram partículas para forçar sua passagem. As forças internas resultam de ciclos de umedecimento e secamento, e de expansão e contração da massa do solo (COSTA, 2000; CAMARGO; ALLEONI, 2006), ambas, podendo causar a compactação do solo.

As forças externas são as mais influenciadas pelos seres humanos. Klute (1982); Silva et al.(2008) relatam que os sistemas de preparo e uso devem oferecer condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas. No entanto, dependendo do solo, do clima, da cultura e de seu manejo, podem promover a degradação da qualidade física, com restrições ao crescimento radicular.

A avaliação de atributos físicos de solo é uma importante ferramenta no monitoramento da qualidade ambiental, considerando-se as características e a finalidade de determinados agroecossistemas (DIAS, 2002; GOMES et al., 2013).

A resistência tênsil dos agregados, a friabilidade (FERREIRA et al.,2009), a resistência á penetração (TAVARES FILHO; RIBON, 2008; REIS et al., 2014a), a porosidade e a densidade são frequentemente utilizados como indicadores de qualidade estrutural do solo (SILVA et al., 2000; TORMENA et al., 2004; CARNEIRO et al., 2009; TORRES et al., 2015).

A resistência tênsil pode ser definida como o estresse ou força por unidade de área requerida para fraturar os agregados, quando submetidos a uma pressão (DEXTER; WATTS, 2000). A friabilidade do solo é a tendência de uma massa de solo em se desfazer em menores tamanhos de agregados sob aplicação de um estresse ou carga (WATTS; DEXTER, 1998).

Em solos subtropicais brasileiros, tanto a resistência tênsil quanto a friabilidade raramente têm sido usados na avaliação de impactos de sistemas de uso e manejo. Particularmente, se desconhece o impacto do uso intensivo do solo a longo prazo sobre a resistência tênsil de agregados e a friabilidade, tendo como referência, um solo não cultivado sob mata nativa ou pousio (TORMENA et al., 2008a). A compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo na qualidade física são fundamentais no desenvolvimento de sistemas agropecuários sustentáveis.

A hipótese do presente trabalho fundamenta-se em que a qualidade física estrutural do solo na camada superficial pode ser influenciada por diferentes usos. O objetivo foi avaliar a qualidade estrutural a partir da resistência tênsil, da friabilidade, da densidade, da porosidade total, da macroporosidade, da microporosidade, da resistência à penetração e do carbono orgânico de um Argissolo sob pastagem rotacionada e cultivo agrícola.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade física estrutural de um Argissolo sob pastagem rotacionada, cultivo agrícola e pousio.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos foram avaliar:

- A resistência tênsil de agregados e a friabilidade do solo;
- A densidade, a porosidade do solo e a resistência à penetração do solo;
- O carbono orgânico total do solo;
- Os atributos físicos sob mesmo uso em diferentes posições no relevo (topossequência)

3 Revisão de literatura

3.1 Pecuária Leiteira

O início da produção de leite no Brasil está intimamente ligado à exploração do gado trazido durante o período de colonização, sendo utilizado primeiramente como força de trabalho nos engenhos de cana de açúcar, secundariamente algumas vacas foram mantidas para essa atividade com finalidade de manutenção do rebanho (ALVES, 2001). Situação diferente da atual, o País é quarto produtor mundial de leite, inferior apenas da União Europeia, Índia e Estados Unidos (FERRAZ, 2013).

O leite está entre os seis produtos mais importantes da agropecuária brasileira, ficando à frente de produtos tradicionais como café e arroz. O agronegócio do leite e seus derivados desempenham um papel relevante no suprimento de alimentos e na geração de emprego e renda para a população (EMBRAPA, 2006).

O Rio Grande do Sul, no cenário nacional, é o segundo maior produtor de leite (IBGE, 2013). O Estado possui em média 72.000 produtores, dentre os quais 66,6% são pequenos produtores que produzem até 50 litros por dia, equivalendo a 30% da produção leiteira. Os restantes 34,4% dos produtores que produzem uma quantidade maior que 50 litros por dia, correspondem a 70% do total de leite produzido no Estado (BITENCOURT et al., 2000).

Pereira e Cóser (2010) descrevem que no Brasil, a intensificação dos sistemas de produção de leite vem acendendo principalmente, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Esta intensificação tem por base a utilização de espécies ou cultivares forrageiras de elevada produção de matéria seca com alta qualidade que, associadas ao uso de práticas racionais de manejo do solo, possibilitem aumentar a taxa de lotação e, conseqüentemente a produtividade. O pastoreio excessivo do gado em áreas agrícolas, entretanto, pode promover a compactação do solo e estabelecer uma elevada exportação de nutrientes, o que pode alterar a eficiência agrônômica e econômica da produção de grãos no período do verão (SILVA et al., 2000).

Flores et al. (2007) destacam que a magnitude das alterações ocasionadas pelo pisoteio nos atributos físicos do solo é condicionada por vários fatores, entre os quais se destaca, a intensidade de pastejo. Fidalski et al. (2013) complementam que o efeito do pisoteio dos animais sobre o solo é potencializado, quando o pastejo é realizado em solos com umidade elevada e com pouca cobertura vegetal.

Outra prática adotada nos sistemas de produção de gado leiteiro, principalmente na região Sul é a utilização de cultivares de milho para a silagem, devido à reduzida produtividade de pastagem, em decorrência das baixas temperaturas na estação fria (VEIGA et al., 2012). O cultivo do milho promove a retirada da cobertura vegetal original, aliada a práticas de manejo inadequadas, modificando as propriedades físicas limitando a utilização agrícola, tornando o solo mais suscetível à erosão (CENTURION et al., 2000; STONE; GUIMARÃES, 2005).

Marques et al. (2010) ressaltam que diferentes manejos agrícolas para a produção de milho interferem nas condições físicas estruturais. Entre as práticas de manejo que diretamente influenciam estão às operações de preparo do solo e semeadura das culturas.

Práticas como adoção de pousios em períodos curtos ou longos favorecem a regeneração gradual da estrutura do solo (CASTAGNARA et al., 2012), entretanto, Gomes et al. (2013) apontam que a duração do tempo de pousio tem influência na sustentabilidade ambiental e um período muito curto resulta em uma degradação local acelerada dos solos cultivados. No entanto, ainda existe carência de estudos sobre o efeito do pousio por longo período, partindo de sistemas intensivos de cultivo nas propriedades físicas do solo, uma vez que, a maioria dos trabalhos comparam diferentes sistemas de manejo com a mata nativa.

A caracterização e o monitoramento de atributos físicos em áreas submetidas a diferentes sistemas de usos e manejos possibilitam a comparação dos seus efeitos e a interpretação acerca da adequabilidade do uso agrícola (TORMENA et al., 2008a).

A comunidade científica demonstra preocupação sobre a sustentabilidade dos sistemas de produção na região. A atividade leiteira regional tem evoluído de um modelo de produção tradicional para um mais competitivo, exigindo das instituições de pesquisa e desenvolvimento, agências de fomento e de assistência técnica e

extensão rural, soluções mais ágeis para obtenção de aumentos de produção sustentáveis (EMBRAPA, 2008).

Corroborando, Debiasi e Franchini (2012) ressaltam ainda que, poucos estudos têm sido realizados para quantificar os efeitos da intensidade de pastejo sobre os atributos físicos do solo. Nesse sentido, o desenvolvimento de pesquisas com intuito de evitar e ou mitigar a degradação de pastagem vai ao encontro com as premissas preconizadas pela Lei Federal de nº 12.805 de 29 de Abril de 2013, que institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

3.2 Indicadores da qualidade estrutural do solo

A estrutura do solo, de acordo com Brewer e Sleeman (1960) é a condição física expressa pela dimensão, forma e arranjo das partículas sólidas e dos poros. A formação de agregados, que são unidades básicas da estrutura do solo é o resultado da interação entre partículas minerais, cátions polivalentes, matéria orgânica, microrganismos, raízes de plantas vivas e fragmentos de plantas e de microrganismos (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

Reichardt e Timm (2012) descrevem que um solo bem estruturado proporciona adequada quantidade de poros, possuindo equilíbrio com a aeração do solo, qualidade que afeta a penetração das raízes, as operações de cultivo e a infiltração de água.

Percepções do que seria um “bom solo” variam e são dependentes das prioridades individuais com relação às suas funções (DORAN; PARKIN, 1994; SHUKLA et al., 2006). Uma “alta qualidade de solo” significa a manutenção de uma maior produtividade com mínima degradação do solo e do ambiente (GOVAERTS et al., 2006).

Outro aspecto a ser considerado é o relevo, visto que, é um dos principais fatores responsáveis pela formação e variação dos atributos dos solos, por direcionar os fluxos de água e o transporte de material de particulado e dissolvido. As diferentes posições no relevo (topossequências) podem apresentar propriedades únicas, pois, os solos tendem a ter comportamento distinto em relação ao seu uso agrícola (BRAGA et al., 2015).

Impactos ambientais que promovam a degradação da estrutura podem comprometer o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produção

agrícola (RICHART et al., 2005; SILVA et al., 2012). Nesta lógica, Macedo (2009) discorre que a degradação das pastagens no Brasil é o principal fator que compromete a sustentabilidade da produção animal.

Em contraposição, o cultivo de milho na modalidade plantio direto, em Nitossolo, pode proporcionar boa qualidade física, em razão da quantidade, qualidade e distribuição de fitomassa radicular que é adicionada ao solo (CALONEGO et al., 2011).

Segundo Vezzani e Mielniczuk (2009) sistemas agrícolas que favorecem a qualidade do solo são aqueles que cultivam plantas intensivamente, de preferência de espécies diferentes, sem o revolvimento do solo. A estrutura física será tanto mais complexa quanto maiores forem a quantidade e a diversidade (quantidade, qualidade e frequência de aporte) da fitomassa disponibilizada (ASSIS et al., 2015).

A qualidade estrutural pode ser indicada a partir de atributos do solo relacionados com a magnitude com que a sua matriz resiste à deformação e, ainda, com sua capacidade em fornecer ar e água em proporções adequadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas (SINGER; EWING, 2000).

O impacto dos sistemas de preparo e manejo tem sido avaliado por meio da densidade, da porosidade (SILVA et al., 2000; TORMENA et al., 2004; CARNEIRO et al., 2009), da resistência à penetração (TAVARES FILHO; RIBON, 2008) e do teor de matéria orgânica do solo (IMHOFF et al., 2002). Em adição, a resistência tênsil de agregados e a friabilidade também poderão ser indicadores dos efeitos do manejo sobre a qualidade estrutural (TORMENA et al., 2008a).

Esses efeitos dos sistemas de usos e das diferentes feições do relevo (topossequências) sobre a qualidade do solo devem ser monitorados através de atributos físicos. O monitoramento é uma ferramenta importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (DORAN; PARKIN, 1994). Dessa forma, estudos tornam-se necessários no fornecimento de informações sobre usos e manejos do solo e no auxílio na tomada de decisões visando a sua adequada utilização (SPOSITO; ZABEL, 2003).

3.2.1 Resistência tênsil de agregados e Friabilidade do solo

Segundo Dexter e Watts (2000), a resistência tênsil de agregados (RT) é a força por unidade de área necessária para causar o fraturamento dos agregados

sendo, provavelmente, a mais útil medida de resistência individual, podendo ser determinada por um teste simples, em uma ampla variação de agregados. Esse fraturamento dos agregados ocorre nos planos de fraqueza derivado das fissuras e microfissuras que formam zonas de menor resistência dos agregados (TORMENA et al., 2008b).

Os diferentes usos do solo influenciam em diversos fatores associados à RT, como o conteúdo de água (WATTS et al., 1996), a dispersão e flocculação das argilas (SHANMUGANATHAN; OADES, 1982; KAY; DEXTER, 1992; BARZEGAR et al., 1994), a concentração e composição da solução do solo (RAHIMI et al., 2000), a formação e estabilidade dos agregados (MATERECHERA et al., 1992) e o teor de matéria orgânica (PERFECT et al., 1995; IMHOFF et al., 2002). Por essa razão, a RT constitui uma medida sensível aos efeitos de sistemas de uso e manejo na estrutura do solo (CHAN, 1995; MUNKHOLM; SCHJØNNING, 2004; BLANCO-CANQUI et al., 2005).

Bavoso et al. (2010) descrevem que o entendimento e a quantificação da resistência tênil de agregados permite a compreensão dos impactos do uso e manejo na qualidade do solo e são fundamentais no desenvolvimento e seleção de sistemas de produção agrícola sustentáveis. Corroborando, Li et al. (2011) definem a RT como um importante indicador de estabilidade mecânica dos agregados.

Nesse contexto Imhoff et al. (2002) ressaltam que resistência tênil é um dos atributos físicos mais amplamente utilizado como indicador de qualidade estrutural do solo após atividade de preparo. Problemas no estabelecimento de culturas foram associados em condições físicas inapropriadas da cama de semeadura decorrente de valores elevados de resistência de agregados (LEY et al., 1993). Altos valores de RT dificultam a penetração das semeadoras no solo, e restringem a emergência das plantas reduzindo o crescimento das raízes (IMHOFF et al. 2002).

De acordo com Dexter e Watts (2000), a determinação da resistência tênil de agregados pode ser feita através de testes diretos e indiretos. Testes diretos consistem na aplicação de duas forças de mesma direção e sentido oposto nos extremos de um agregado, o qual é separado em duas partes pela ação dessas forças (Figura 1).

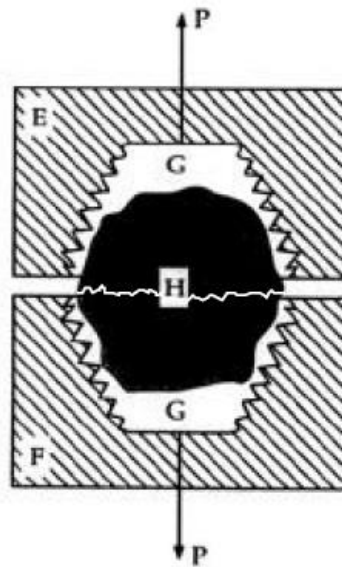


Figura 1 - Agregado natural (H) fixado a metades (E e F) de um recipiente por meio de “plaster of Paris” (mistura de calcário, areia e água) (G). O agregado é submetido à tração (P), sendo separado em duas partes. Fonte: Dexter e Watts (2000).

Em testes indiretos, o estresse não é realizado diretamente sobre o agregado. Nesse caso, uma força compressiva é aplicada a uma placa metálica que transmite a força através do diâmetro polar, produzindo um aumento do estresse dentro do agregado. O valor máximo de estresse tensão ocorre no plano vertical através do centro da amostra, quando a força compressiva supera a resistência tensão do agregado (força de mesma magnitude, mas em sentido oposto) forma-se uma fissura no centro do agregado, dividindo-o em unidades menores, porém, de maior resistência (Figura 2) (DEXTER; WATTS, 2000). Esses autores complementaram ainda que, a RT é, portanto, igual ao valor do estresse tensão no momento da quebra da amostra.

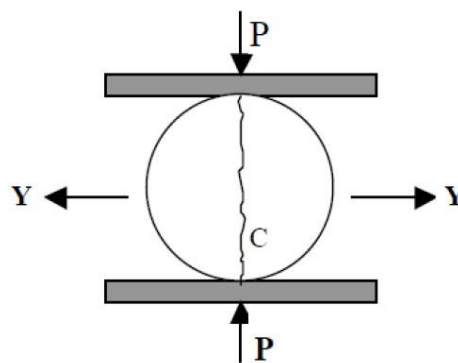


Figura 2 - Fissura C formada entre os dois pontos de aplicação da força (P) devido ao estresse tensão (Y) que atua no centro da amostra. Fonte: Dexter e Watts (2000).

Diante das quantificações de RT, pode-se mensurar a friabilidade (F) como um outro indicador da qualidade estrutural do solo, uma vez que, a condição de solo friável é desejável para a germinação das sementes e desenvolvimentos de plantas.

A friabilidade indica a tendência de uma massa de solo a se desfazer em agregados de tamanhos menores sob a aplicação de um estresse ou carga (WATTS; DEXTER, 1998). Este atributo físico é resultante da heterogeneidade da resistência tênsil, devido aos planos de fraqueza ou zonas de falhas entre os agregados do solo (BRAUNACK et al., 1979; UTOMO; DEXTER, 1981; DEXTER; WATTS, 2000).

Sua mensuração pode ser realizada a partir três métodos: a) do coeficiente de variação, em que o desvio padrão dos valores de resistência tênsil dos agregados é dividido pelo valor médio de RT; b) que relaciona a força aplicada nos agregados com o logaritmo dos valores de RT e c) do volume dos agregados, que relaciona o logaritmo da RT com o logaritmo do tamanho do agregado (UTOMO; DEXTER, 1981).

Baseados nos valores de F, Utomo e Dexter (1981) propuseram uma classificação (Tabela 1).

Tabela 1 – Categorias de classificação quanto a friabilidade do solo.

Categorias	F
Solo não friável	< 0,05
Solo levemente friável	0,05 – 0,10
Solo friável	0,10 – 0,25
Solo muito friável	0,25 – 0,40
Solo instável mecanicamente	> 0,40

Estas categorias são baseadas no método que estima os valores de F como sendo a inclinação da reta que relaciona o logaritmo da RT com o logaritmo do tamanho do agregado. Porém, quando comparado ao método do coeficiente de variação (WATTS; DEXTER, 1998), resulta em menores valores de F. Com base nessas premissas, Imhoff et al. (2002), utilizaram o valor de F multiplicado por 2, para classificar a qualidade estrutural de Latossolos definindo como mais usual no Brasil, sendo: não friável (< 0,10), ligeiramente friável (0,10-0,20), friável (0,20-0,50), muito friável (0,50-0,80) e mecanicamente instável (>0,80).

De acordo com Utomo e Dexter (1981) e Macks et al. (1996), valores altos de F indicam que o solo apresenta tendência a se desagregar quando uma mínima força é aplicada, sendo, portanto, impróprios para sistemas agrícolas mecanizados. Valores intermediários de F indicam que agregados grandes possuem menor RT do que agregados pequenos, podendo, serem quebrados em fragmentos pequenos mais facilmente. Valores reduzidos de F indicam a tendência do solo em quebrar-se em fragmentos de tamanho aleatório (muito grandes e muito pequenos) quando submetido às atividades de preparo, os quais são inadequados para a germinação e crescimento de plântulas.

Embora esses dois indicadores tenham sido amplamente avaliados em solos de clima temperado e submetidos a diferentes manejos, ainda há carência de informação acerca de solos desenvolvidos sob influência de clima tropical e subtropical (IMHOFF et al., 2002; TORMENA et al., 2008a).

3.2.2 Densidade, Porosidade e Resistência à penetração

A densidade do solo, definida como sendo o quociente de massa de sólidos por seu volume, é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e o volume de poros (KLEIN, 2014).

Alterações deste parâmetro podem ocorrer devido a forças naturais, agindo lentamente no solo, como a eluviação de argilas (BELTRAME; TAYLOR, 1980) ou do pisoteio e do pastejo animal em diferentes condições de umidade promovidas pela pecuária (FLORES et al., 2007).

Estudos demonstram que o uso continuado de pastagem pode promover alterações em atributos físicos em função do pisoteio dos animais, tais como aumento da densidade e redução da porosidade, ambos indicadores da compactação (VEIGA et al., 2012; ORTIGARA et al., 2014). Essas alterações, contudo, ocorrem com maior intensidade na camada superficial (LANZANOVA et al., 2007).

A porosidade é originária do arranjo aleatório das partículas sólidas, sendo a fração volumétrica do solo ocupada com ar ou água, representando o local onde circulam a solução (água e nutrientes) e o ar. Portanto, é o espaço onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e da solução do solo (HILLEL, 1970). Os poros no solo variam amplamente quanto à forma, comprimento, largura, tortuosidade e,

principalmente continuidade, determinando o papel que cada tipo desempenha no sistema solo-planta-atmosfera. Os poros podem ser agrupados de forma simplificada em macroporos ($>$ que 0,05 mm) e microporos ($<$ que 0,05 mm) (BRADY; WEIL, 2007; FERREIRA, 2010).

Macroporos também denominados de porosidade de aeração representam o volume de poros vazios, sendo os responsáveis pela difusão de gases junto ao sistema radicular (STEPNIEWSKI et al., 1994). Alterações na estrutura do solo ocasionadas pela compactação, especificamente em regiões úmidas, reduzem a porosidade de aeração. Trabalhos têm sido publicados na literatura adotando valores de 10% para a porosidade de aeração (GRABLE; SIEMER, 1968; KUNZ et al., 2013).

Santos et al. (2011) em Latossolo, com intuito de avaliar a qualidade física do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária descrevem que o sistema de pastagem contínuo não apresentou variações significativas na macroporosidade, enquanto que, em sistemas de pecuária e pastagem rotacionada apresentaram redução desse parâmetro.

Os microporos são aqueles poros que, geralmente estão preenchidos com água em condições de campo e a maior parte da água retida nestes poros não está disponível às plantas (BRADY; WEIL, 2007).

Os poros do solo representam o reservatório de água, capazes de assegurar muitas vezes sua disponibilidade, mesmo durante longos períodos de estiagem (Braga, 2005). A importância desse conjunto de poros depende, dentre outros fatores, do tipo de cultivo, condições climáticas, do lençol freático, possibilidade de irrigação e controle ambiental (FERREIRA, 2010).

Debiasi e Franchini (2012), avaliando a dessecação da pastagem ou o efeito da pressão de pastejo por bovinos sobre atributos físicos em um Latossolo, em sistema de integração lavoura-pecuária obtiveram em camadas superficiais redução significativa da microporosidade, atribuindo esse efeito a pressão de pastejo.

A resistência mecânica à penetração (RP) é uma das propriedades físicas que influenciam diretamente no crescimento das raízes e da parte aérea das plantas (LETEY, 1985; BLAINSKI et al., 2008) e é modificada pelos usos e sistemas de preparo do solo (TORMENA et al., 2002).

Imhoff et al. (2000), Tormena et al. (2004) e Ribon e Tavares Filho (2004) descrevem uma estreita relação entre RP, densidade, conteúdo de água, teor de argila e teor de matéria orgânica do solo. Elevados valores deste atributo físico podem influenciar no crescimento das raízes em comprimento e diâmetro (MEROTTO; MUNDSTOCK, 1999).

A utilização de pastagens em sistema planejado de rotação com agricultura (integração lavoura-pecuária) pode constituir uma alternativa tecnicamente viável para o restabelecimento parcial da qualidade física do solo (BLAINSKI et al., 2008).

3.2.3 Carbono Orgânico

A matéria orgânica refere-se a todos os compostos que contêm carbono orgânico no solo (CO), incluindo os microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânicas microbiológicas e/ou quimicamente alteradas (MEURER, 2012).

A dinâmica de transformação do CO afeta diretamente a qualidade do solo (SANTOS; TOMM, 2003; HERMLE et al., 2008), pois é componente essencial nos diversos processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem nos ecossistemas terrestres, dentre os quais, se destacam a estruturação do solo, o suprimento de nutrientes, fonte de carbono e energia para os microrganismos, redução da contaminação de água de superfície e subterrânea pelo fenômeno de adsorção de poluentes, afeta a disponibilidade de ar e água às raízes das plantas e o desenvolvimento do sistema radicular (SILVA; PASQUAL, 1999; CORREA, 2002; CONCEIÇÃO et al., 2005).

A matéria orgânica parece atuar como agente agregante ou desagregante dependendo de sua composição química e da presença de outros materiais cimentantes (GOLDBERG et al., 1990).

A matéria orgânica pode ser incorporada dentro de poros muito pequenos, entre as unidades do solo, classificadas como “domínios argilosos” e/ou “clusters” (agrupamentos maiores), contribuindo na estabilização de microagregados e como, consequência disso, incrementando a resistência de agregados de maior tamanho (DEXTER, 1988). Por outro lado, Goldeberg et al. (1990) assinalaram que se o tamanho dos ânions orgânicos é semelhante ao tamanho do eixo das partículas de

argila, a sua adsorção específica pode compensar as cargas elétricas positivas, conferindo excesso de cargas elétricas negativas às partículas. Esse excesso de cargas negativas pode induzir a dispersão das partículas de argila, diminuindo a resistência tênsil dos agregados.

Segundo Ribon et al. (2014), o cultivo intensivo aliado a práticas convencionais de preparo causam a degradação de sua estrutura. Dessa forma, o cultivo de espécies diferentes e práticas de manejo que adicionem matéria orgânica nos solos contribuem para o rearranjo das partículas do solo, promovendo a melhoria da qualidade de agregação e, conseqüentemente da estruturação. Neste sentido, a matéria orgânica é um componente bastante sensível às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo agrícola (SILVA et al., 2012).

A compreensão e a quantificação do impacto dos sistemas de uso e manejo sobre os teores de CO e propriedades físicas do solo são fundamentais para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis (VIANA et al., 2011; TORMENA et al., 2008b).

Apesar da relevância do tema, também há carência de informações sobre a influência do teor de matéria orgânica na RT, F, Ds, Pt, Ma, Mi e RP de solos brasileiros, principalmente no que se refere a sob usos de pousio, cultivo de milho e pastagem.

4 Material e Métodos

4.1 Localização

A pesquisa foi desenvolvida em uma propriedade agrícola, localizada na zona rural do município de Pelotas (RS), com coordenadas geográficas 31°40'58.38" latitude Sul e 52°31'38.39" longitude Oeste, com altitude média de 55 m (Figura 1) cuja atividade principal é caracterizada com produção de leite *in natura*.

O embasamento geológico da área é constituído por rochas sedimentares com afloramentos de migmatitos homogêneos. O relevo da propriedade é considerado suavemente ondulado, com declividade média de 7%.

O solo é classificado como um Argissolo Vermelho-Amarelo com textura franco arenosa (Embrapa, 2013). Os teores médios, de argila, silte e areia foram: 173,21 g kg⁻¹, 178,33 g kg⁻¹, 648,46g kg⁻¹, respectivamente na camada superficial.

A propriedade possui área de 24,2 hectares e apresenta: cultivo de pastagem, de milho, pousio, açude, benfeitorias diversas e áreas de especial interesse ambiental (Figura 3).



Figura 3 – Delimitação da propriedade agrícola (linha vermelha), os números no interior da figura indicam os diferentes usos do solo. 1 - cultivo de pastagem; 2 – cultivo de milho; 3 - Pousio; 4 - Açude; 5 - Benfeitorias; 6 - Áreas de Interesse Ambiental. Fonte: Google Earth (2015).

As áreas destinadas as pastagem compreendem a maior parte da propriedade e têm sido utilizadas de maneira rotacionada com aveia e azevém por um período de, aproximadamente, 10 anos sendo que, nos oito primeiros anos foram feitas subsolagens bianuais com intuito de reduzir a compactação do solo. Nos últimos dois anos foram realizadas roçadas anuais e aplicação de fertilizantes nessas áreas.

A área onde atualmente é desenvolvido o cultivo do milho, há quatro anos era compreendida por pastagem. O manejo do solo adotado é o sistema de plantio direto que visa racionalizar o uso de máquinas e promover maior conservação do solo.

O pousio apresenta vegetação espontânea, sem atividade há pelo menos vinte e cinco anos. O seu uso anterior foi o plantio de arroz manejado pelo sistema convencional de preparo do solo.

O açude, poteiros instalações produtivas e moradia são as infraestruturas necessárias para o desenvolvimento da produção de leite (Figura 3).

As áreas de interesse ambiental visam à sustentabilidade de um sistema de produção não apoiado apenas em aspectos de conservação e preservação ambiental, mas em aspectos econômicos e comerciais.

4.2 Coleta de amostras de solo

Para avaliação dos parâmetros físicos foram coletadas, aleatoriamente, considerando a posição no relevo, ou seja, as áreas altas, intermediárias e baixas (terço superior, terzo médio e terzo inferior), conforme Figura 4, e em três áreas próximas, amostras de solo com estrutura preservada e não preservada na camada de 0,00 a 0,10 m, sendo elas: i) pousio; ii) pastagem rotacionada com aveia e azevém e iii) cultivo de milho (Figura 5).

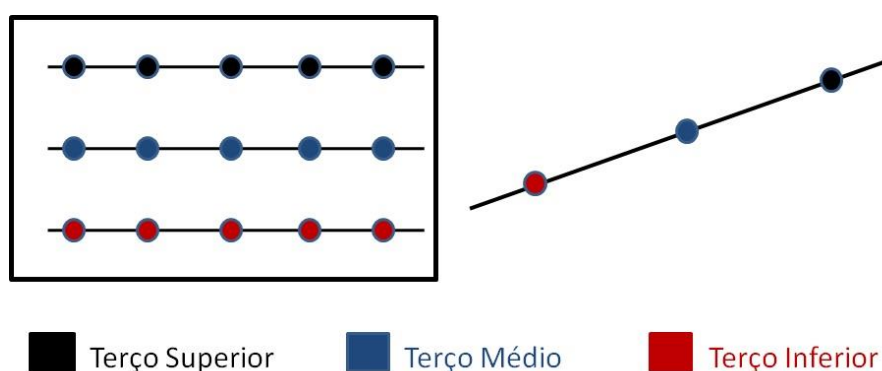


Figura 4 – Diferentes posições no relevo (cores preto, azul e vermelho).



Figura 5 – Delimitação da propriedade agrícola (linha vermelha) e dos diferentes usos de solo (cores amarelo, verde e marrom). Fonte: Google Earth (2015).

Nessas áreas (Figura 5) coletaram-se em 5 pontos considerando as posições do relevo e três repetições, totalizando 270 amostras de solo (135 amostras indeformadas e 135 deformadas) (Figura 6). Esse procedimento teve o intuito de atender a premissa de Souza et al. (2006), os quais observaram que em uma paisagem natural, os solos podem apresentar ampla variação dos atributos, tanto vertical como horizontal, resultante da interação dos diversos fatores de formação envolvidos.

As amostras com estrutura preservada foram coletadas utilizando anéis volumétricos de 5 cm de altura e de diâmetro para determinação da densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e resistência à penetração, já as amostras com estrutura não preservadas foram coletas com auxílio de uma pá de corte em blocos para determinação da resistência tênsil, friabilidade, carbono orgânico total e granulometria.



Figura 6 – Pontos georreferenciados de coleta de amostras de solo com estrutura alterada e inalterada. Fonte: Google Earth (2015).

Todos os pontos de amostragem de solo foram georreferenciados (Figura 5), visando monitorar e ampliar o banco de dados para estudos futuros nesta região.

4.3 Avaliações de atributos físicos do solo

As amostras de solo com estrutura indeformada e deformada foram encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI). Nas amostras de solo com estrutura alterada determinou-se a resistência tênsil e a friabilidade do solo. As amostras com estrutura inalterada foram determinadas a densidade do solo, a porosidade total, a macro e a microporosidade e a resistência do solo à penetração.

4.3.1 Resistência Tênsil de Agregados

As amostras de solo com estrutura não preservada foram destorroadas manualmente em seus pontos de fraqueza em agregados naturais e, posteriormente, secas ao ar.

Foram selecionados 20 agregados por amostra, totalizando 2.700 unidades estruturais, os quais foram pesados e aferidos para a obtenção da sua largura e altura e do seu diâmetro médio. Posteriormente, foram submetidos a atuador eletrônico linear a uma velocidade constante de 4 mm s^{-1} .

A resistência tênsil foi calculada conforme descrito por Dexter e Kroesbergen (1985):

$$RT = 0,576 \left(\frac{P}{D^2} \right)$$

Onde: RT é a resistência tênsil de agregados (kPa); 0,576 é o coeficiente de proporcionalidade; P, a força aplicada (N), e D, o diâmetro efetivo (mm).

O diâmetro efetivo foi calculado de acordo Watts e Dexter (1998), sendo:

$$D = D_m \left(\frac{M}{M_0} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Onde: D é o diâmetro efetivo (mm); D_m, o diâmetro médio do agregado (mm); M, a massa do agregado individual (g); e M₀, a massa média dos agregados na população (g).

4.3.2 Friabilidade

A friabilidade do solo foi estimada pelo método do coeficiente de variação proposto por Watts e Dexter (1998):

$$F = \frac{\sigma Y}{Y} \pm \frac{\sigma Y}{Y\sqrt{2n}}$$

Onde: F é friabilidade do solo (adimensional); σ_y , o desvio-padrão dos valores medidos da resistência tênsil (kPa); Y, a média dos valores medidos de resistência tênsil (kPa); e n, o número de repetições. O segundo termo é o erro-padrão do coeficiente de variação.

A caracterização da friabilidade foi baseada em classes segundo Imhoff et al. (2002) como: não friável ($< 0,10$), ligeiramente friável ($0,10-0,20$), friável ($0,20-0,50$), muito friável ($0,50-0,80$) e mecanicamente instável ($> 0,80$).

4.3.3 Densidade do solo, Porosidade Total, Macroporosidade e Microporosidade

A determinação da densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, seguiram metodologias da Embrapa (2011). Inicialmente realizou-se o toalete nas amostras e essas foram submetidas à saturação por no mínimo 48 horas. Após foram pesadas e colocadas em mesa de tensão para serem submetidas à tensão de sucção de 0,006 MPa. Depois de atingido o equilíbrio entre a pressão aplicada e a quantidade de água retida na amostra, essas foram pesadas, e juntamente com a massa de solo seco, obtida após todas as etapas, determinou-se a D_s , a P_t , a M_a e a M_i .

4.3.4 Resistência à Penetração

A resistência à penetração (RP) foi realizada em amostras de solo com estrutura preservada, as quais foram saturadas por um período de 24 a 48 horas e submetidas a um potencial de -0,01 MPa em uma câmara de pressão de Richards (KLUTE, 1986). Depois de obtido o equilíbrio entre a pressão aplicada e o conteúdo de água na amostra de solo, cada amostra foi pesada para determinação da RP, utilizando um penetrômetro eletrônico, modelo MA 933, fabricado pela empresa MARCONI LTDA, com atuador linear e célula de carga de 20 kg acoplada a um computador para aquisição e armazenamento de dados.

A RP foi determinada em três locais distanciados igualmente do centro de cada amostra, com uma velocidade de penetração de 10 mm min^{-1} (BRADFORD, 1980).

4.3.5 Carbono Orgânico Total

Para quantificação do carbono orgânico, foram selecionados 45 agregados adicionais, os quais foram moídos em gral de ágata. Em seguida cada agregado moído foi acondicionado em enpendorf de 2 ml. O teor de carbono orgânico foi determinado, em um analisador elementar Perkin Elmer, pertencente a Embrapa Clima Temperado, conforme o método por combustão seca (CHNS/O).

4.3.6 Determinações complementares

A umidade gravimétrica do solo foi mensurada de acordo com metodologia da Embrapa (2011). O valor médio da umidade para solo em estudo foi de 0,08 kg kg⁻¹.

A composição granulométrica foi quantificada em amostras deformadas, conforme Gee e Bauder (1986) e Embrapa (2011).

Os resultados obtidos referentes às análises granulométricas e densidade de partícula (Dp) são mostrados na Tabela 2. O solo não apresentou diferença de amplitude textural para os sistemas de uso estudados permanecendo na classe franco-arenosa, independente do uso e da posição da paisagem.

Tabela 2 – Frações granulométricas de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e topossequências na camada de 0,00 a 0,10 m, Pelotas-RS.

Uso	Topossequência	Argila	Silte	Areia	Dp ¹
		----- g kg ⁻¹ -----			Mg m ⁻³
		0,00 - 0,01m			
Pousio	Terço Superior	188,40	170,33	641,27	2,50
	Terço Médio	195,29	190,31	614,40	2,57
	Terço Inferior	195,61	161,75	642,64	2,57
Milho	Terço Superior	206,65	161,02	632,33	2,56
	Terço Médio	130,47	188,22	681,31	2,61
	Terço Inferior	169,35	190,88	640,40	2,58
Pastagem	Terço Superior	160,66	170,81	668,53	2,59
	Terço Médio	178,05	151,42	670,53	2,55
	Terço Inferior	141,18	189,42	669,40	2,57

¹Dp: Densidade de partículas

4.4 Análise dos resultados

Os resultados foram submetidos à análise de variância e sendo constatada a distribuição normal dos dados pelo teste Shapiro-Wilk, os valores médios foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). A análise de regressão também foi aplicada para alguns atributos do solo. O Software utilizado foi o Assistat.

5. Resultados e Discussão

Para a melhor compreensão dos resultados, enfocaram-se duas abordagens: os diferentes usos (tratamentos) e as diferentes posições no relevo (topossequências).

5.1 Sistemas de Usos

Os resultados da análise descritiva aplicada aos dados de resistência tênsil, friabilidade, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração e carbono orgânico total do solo sob diferentes usos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Momentos estatísticos da resistência t  sil (RT, kPa), friabilidade (F, adimensional), densidade do solo (Ds, Mg m⁻³), porosidade total (Pt, m³ m⁻³), macroporosidade (Ma, m³ m⁻³), microporosidade (Mi, m³ m⁻³), resistência   penetração (RP, kPa) e teor de carbono orgânico total (COT, g kg⁻¹) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos, na camada de 0,00 a 0,10 m, Pelotas-RS.

Usos	Variáveis	Mínimo	Máximo	DP ¹	CV(%) ²
		0,00 a 0,10 m			
Pousio	RT, kPa	57,50	96,49	11,75	15,72
	F	0,35	0,47	0,03	7,68
	Ds, Mg m ⁻³	1,45	1,64	0,05	3,15
	Pt, %	34,81	43,11	2,26	5,75
	Ma, %	5,46	13,16	2,09	23,27
	Mi, %	25,14	34,15	3,07	10,12
	RP, kPa	1,76	1,07	2,64	21,02
	COT, g kg ⁻¹	11,41	16,80	0,14	9,81
Milho	RT, kPa	56,65	114,61	15,52	18,52
	F	0,34	0,45	0,04	10,24
	Ds, Mg m ⁻³	1,44	1,70	0,07	4,42
	Pt, %	32,48	43,14	3,01	8,19
	Ma, %	5,75	12,35	1,96	22,48
	Mi, %	21,57	34,82	3,45	12,32
	RP, KPa	2,30	0,87	3,40	
	COT g kg ⁻¹	11,60	14,90	0,12	9,00
Pastagem	RT, kPa	57,75	146,90	20,18	22,76
	F	0,33	0,44	0,04	10,66
	Ds, Mg m ⁻³	1,59	1,72	0,04	2,40
	Pt, %	30,21	37,07	1,94	5,71
	Ma, %	3,70	10,00	1,74	24,75
	Mi, %	23,74	29,86	2,18	8,09
	RP, kPa	2,68	1,93	3,86	13,43
	COT g kg ⁻¹	11,13	17,88	0,17	13,98

¹DP: Desvio Padrão; ²CV: Coeficiente de variação (%).

Os valores médios da resistência t  sil dos agregados (RT) para o solo sob pousio, milho e pastagem foram 74,73, 83,81 e 88,66 kPa, respectivamente. Esses valores são superiores aos encontrados por Tuchtenhagen (2015) e Bavoso et al. (2010), porém similares aos encontrados por TORMENA et al., 2008a.

Os valores mínimos e máximos para RT para o solo sob pousio, milho e pastagem foram 45,00, 102,92, 46,08, 117,59, 53,60 e 155,63 kPa, respectivamente.

Observa-se que o coeficiente de variação (CV) da RT variou de 15,72 a 22,76%, demonstrando a homogeneidade no formato dos agregados utilizados. Os valores de CV são inferiores aos descritos por Imhoff et al. (2002) e Filho (2012), porém similares aos de Bavoso et al. (2010) e Tuchtenhagen (2015). Segundo Gomes (1990), os CV obtidos no pousio e milho são considerados médios e alto para pastagem respectivamente.

Os teores de água dos agregados, por ocasião da RT, no pousio, milho e pastagem variaram de 0,89; 1,00 e 1,33 %; respectivamente e em média menor que 2 %, indicando que a variação deste parâmetro deve-se exclusivamente aos efeitos dos usos do solo, já que a umidade é um dos principais fatores que influenciam a RT (RAHIMI et al., 2000).

De acordo com Imhoff et al. (2002), um dos fatores que pode influenciar a RT é a forma dos agregados, de modo que, o fraturamento dos agregados ocorre nos planos de fraqueza derivados das fissuras e microfissuras que formam zonas de menor resistência, conforme a sua morfologia.

A análise de variância indicou efeito estatisticamente significativo dos sistemas de usos para a RT. A RT no pousio foi significativamente menor do que no solo sob pastagem, a qual não diferiu estatisticamente do milho (Figura 6). Os maiores valores de RT na pastagem devem estar associados ao efeito do pastejo, além das roçagens anuais, diferente do obtido por Bavoso et al. (2010) que obteve menor valor de RT em Latossolo sob pastejo em relação a semeadura direta.

Outro estudo, com a finalidade de avaliar a qualidade estrutural, confirma a menor RT sob pousio em relação ao solo cultivado. Tal comportamento associa-se ao não revolvimento, ao contínuo fornecimento de materiais orgânicos, aos ciclos de secagem e umedecimento, os quais assumem importância decisiva em processos ligados à sua resiliência estrutural, propiciando um decréscimo na resistência tênsil devido à formação de zonas de baixa resistência ou falhas na matriz dos agregados (TORMENA et al., 2008a).

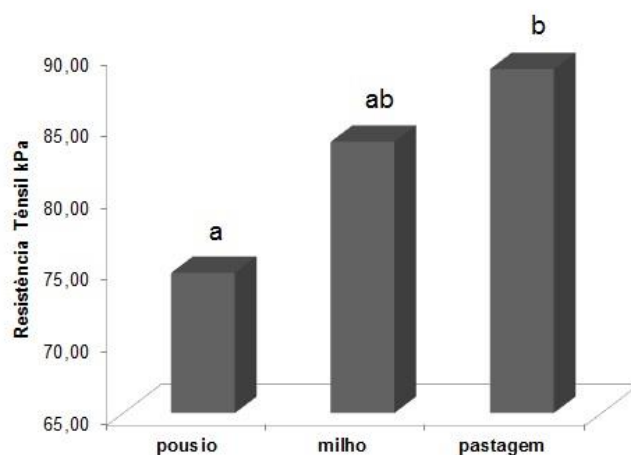


Figura 7 - Valores médios de resistência tênsil dos agregados de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A friabilidade (F)   outro indicador da qualidade estrutural, uma vez que, a condição de solo friável   desejável para a germinação das sementes, o crescimento das plantas e o estabelecimento das culturas. Os diferentes sistemas de usos apresentaram valores de 0,38; 0,39 e 0,40, respectivamente (Figura 7). Conforme a classificação proposta por Imhoff et al. (2002), os dados obtidos indicam solos friáveis, essa condição requer reduzida intensidade de cultivo para a produção de pequenos agregados e, conseqüentemente, uma cama de plantio adequado para a germinação e o estabelecimento das plantas. Os valores mínimos e máximos para F para o solo sob pousio, milho e pastagem foram 0,31, 0,55, 0,30, 0,47, 0,31 e 0,63, respectivamente.

Nota-se que o coeficiente de variação (CV) da F variou de 7,68 a 10,66 %, sendo inferiores aos descritos por Imhoff et al. (2002), Guimarães et al. (2009), Bavoso et al. (2010) e Filho (2012), porém semelhantes aos de Tormena et al. (2008a), e Tuchtenhagen (2015). Tormena et al. (2008b) também verificaram um menor CV na F no pousio em relação solo sob cultivo.

A análise de variância não diferenciou estatisticamente os sistemas de usos para esta variável. Distintamente da RT, a F foi menos sensível para distinguir os efeitos dos usos, fato que corrobora com os estudos de Bavoso et al. (2010) e Reis et al. (2014b), que avaliaram os mesmos parâmetros em diferentes sistemas de preparo agrícola.

Tormena et al. (2008a) constataram diferença estatística comparando solo sob mata nativa em relação ao solo sob pousio e cultivado, com elevada F na mata em comparação aos demais usos.

Os maiores valores de F na pastagem também foram constatados por Watts e Dexter (1998) e Chan (1995), que distinguiram o efeito das gramíneas e pastagens permanentes em relação ao cultivo intensivo.

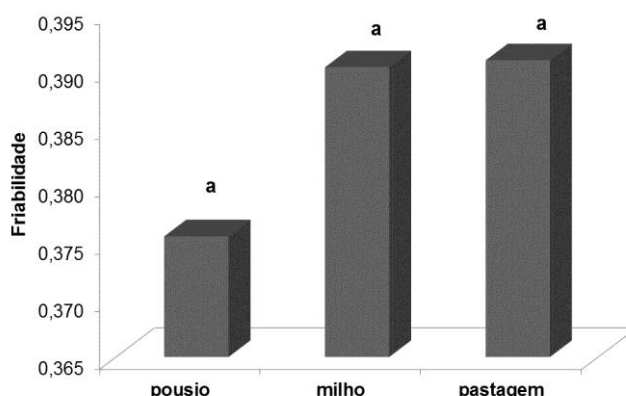


Figura 8 - Valores médios de friabilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

De acordo com Klein (2014) os valores de densidade dos solos (D_s) agrícolas variam de 0,90 a 1,80 Mg m^{-3} . O solo sob os diferentes sistemas de usos neste estudo apresentaram valores médios de 1,56; 1,60 e 1,67 Mg m^{-3} , respectivamente (Figura 8), estando dentro intervalo preconizado pelo autor supracitado. Os valores mínimos e máximos para D_s para o solo sob pousio, milho e pastagem foram 1,45, 1,68, 1,34, 1,74, 1,55 e 1,75 Mg m^{-3} respectivamente.

O coeficiente de variação (CV) da D_s foi inferior a 10% independente do uso, fato que corrobora com a premissa de Warrick e Nielsen (1980). Essa baixa variabilidade permite obter, com reduzido número de amostras, uma boa representatividade dessa propriedade do solo.

Nota-se que a variação da D_s esteve possivelmente relacionada com o tipo de uso do solo e, associada a RT (Figuras 6 e 8). De acordo com Blanco-Canqui et al. (2005), a compactação pode provocar coalescência dos agregados, aumentando a densidade individual e a resistência dos agregados, reduzindo o espaço poroso intra-agregado.

Por outro lado, o solo sob pousio apresenta a menor para a densidade e a maior porosidade total (Figuras 8 e 9), que favorece a maior ocorrência de baixa resistência, permitindo que a manipulação mecânica ou fraturamento do solo ocorra com menor dispêndio de energia.

O solo sob pastagem por sua vez, apresenta o maior valor densidade, fato que deve estar associado ao pisoteio dos animais em decorrência do pastejo. Diversos estudos demonstram incremento deste parâmetro na superfície do solo em decorrência dessa atividade (MOREIRA et al., 2014 ; FIDALSKI; ALVES, 2015).

O solo sob milho demonstrou resultados intermediários quando comparados aos demais usos. Situação diferente da obtida por Chieza et al.(2013) que verificaram que o cultivo do milho em Argissolo consorciado ou não com leguminosas resultou na redução significativa da densidade quando comparado com o pousio.

Essas alterações que ocorrem na estrutura do solo, evidenciando-se por modificações nos valores de densidade, porosidade total, distribuição do diâmetro dos poros e porosidade de aeração (KLEIN et al., 1998).

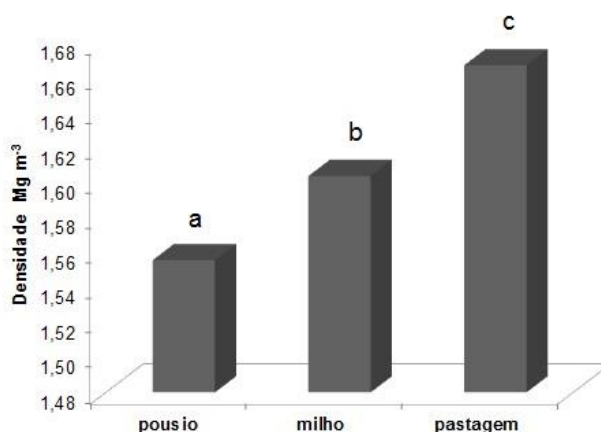


Figura 9 - Valores médios de densidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O volume total de poros situou-se acima de $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nos três sistemas de uso. Entretanto, os solos sob pousio e milho apresentaram os maiores valores médios de porosidade total de $0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente, refletindo no solo uma melhor aeração. A porosidade pode ser evidenciada como um bom indicador de uso e manejo do solo por está intimamente relacionada à composição

granulométrica e ao teor de carbono orgânico influenciando o desenvolvimento do sistema radicular, capacidade de aeração (ALVES et al., 2007). O solo sob a pastagem, por sua vez, apresentou o menor valor médio $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, estando possivelmente associado ao incremento da densidade do solo nesse sistema de uso. Os valores mínimos e máximos para P_t para o solo sob pousio, milho e pastagem foram 0,33, 0,52, 0,22, 0,46, 0,24, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ e 0,39 respectivamente.

Os coeficientes de variação (CV) obtidos para P_t nos diferentes usos foram 5,75, 8,19 e 5,71% respectivamente, sendo classificados como baixo (GOMES 1990), são similares aos obtidos por Castagnara et al. (2012), Menino et al. (2012), Chieza et al. (2013) e Torres et al. (2015) em estudos comparativos entre diferentes usos e/ou manejos do solo.

A P_t apresentou efeito estatisticamente significativo entre os sistemas de usos, demonstrando que está intrinsicamente ligado a densidade. Silva et al. (2000) salientam que o incremento da densidade promove a redução da porosidade total.

O solo sob pastagem teve a menor porosidade total e a maior densidade na camada superficial, em decorrência da maior influência da aplicação de pressões na superfície pelo pisoteio de animais (BRAIDA et al., 2008). Essas alterações, ocorrem com maior intensidade na camada superficial (LANZANOVA et al., 2007) e muitas vezes, não atingem valores críticos que possam limitar a produção em sequência de culturas anuais (SILVA et al., 2000; VIEGA et al., 2012). O solo sob pousio, por sua vez, apresentou os maiores valores de porosidade total e menor densidade, razão pela qual deve se à ausência do pisoteio dos animais e intervenções antrópicas. Castagnara et al. (2012) constataram a mesma relação verificando atributos físicos de um Latossolo sob pousio comparando com cultivado com gramíneas tropicais sob pastejo.

Os resultados obtidos para a P_t no solo sob milho novamente ficaram na posição intermediária em relação aos demais. Spera et al. (2009) avaliando atributos físicos em Latossolo, comparando sistemas lavoura-pecuária e pastagem perenes, observaram valores superiores de porosidade total nas pastagens perenes, situação diferente da obtida neste estudo.

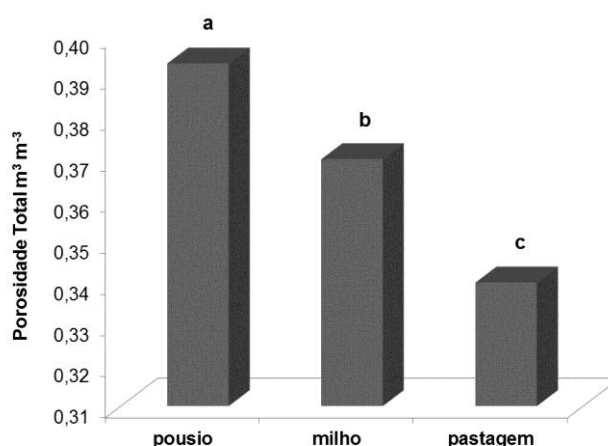


Figura 10 - Valores médios de porosidade total de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

Os valores médios obtidos para a macroporosidade (M_a) do solo sob pousio, milho e pastagem foram 0,09, 0,09 e 0,07 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente. Evidenciando indícios de degradação da estrutura do solo sob pastagens, segundo Alves et al. (2007) esse uso pode modificar o arranjo das partículas do solo, provocando diminuição no tamanho dos poros, especialmente daqueles de tamanho maior.

Os valores mínimos e máximos para esse atributo para os sistemas de usos pousio, milho e pastagem foram 0,05, 0,13, 0,03, 0,13, 0,03 e 0,11 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente.

Esses resultados sugerem que a capacidade de aeração do solo segue em ordem crescente nos sistemas: Pousio > Milho > Pastagem. Valores de porosidade de aeração abaixo de 10% são, geralmente, adotados como restritivos para o crescimento e produtividade da maioria das culturas (THOMASSON, 1978; MOREIRA, 2014).

Todos os usos apresentaram valores inferiores a 10% na porosidade de aeração, situação que necessita de atenção para desenvolvimento de atividades agropecuárias. A redução da M_a pode aumentar a resistência ao crescimento radicular, em condições de baixa umidade, reduzir a sua oxigenação, tornando a planta mais susceptível ao déficit hídrico e com limitada capacidade de absorver nutrientes (ROSOLEM et al., 1994). Nesse sentido, quando a redução da porosidade de aeração do solo torna-se limitante ao desenvolvimento das culturas, faz-se necessária a adoção de medidas mitigatórias (KLEIN, 2014). Estudos sugerem que

a consorciação culturas como gramíneas e leguminosas pode promover o incremento na macroporosidade (Fidalski et al., 2008 ; Chioderoli et al., 2012).

Verificou-se que o coeficiente de variação (CV) da Ma, foi o maior em relação aos demais atributos, variando de 22,48 a 24,75 %, considerados alto por Gomes (1990), sendo estes superiores aos descritos por Castagnara et al. (2012), porém semelhantes aos observados por Costa et al. (2015).

A análise de variância indicou efeito estatisticamente significativo dos sistemas de usos para a Ma. Na pastagem foi significativamente menor do que no solo sob pousio e milho (Figura 9). Evidência também constatada por Castagnara et al., (2012) na comparação de pousio com áreas de pastagem.

O solo sob pousio apresentou valor superior para macroporosidade em relação aos demais usos, fato que corrobora com estudo de Rodrigues et al. (2011) em Latossolo comparando sistemas convencionais com plantio direto observaram que menor revolvimento do solo sob sistema plantio direto resulta na formação de poros mais contínuos e melhor condição de aeração no solo. No entanto, a Ma não diferiu estatisticamente do milho, o que pode estar associado ao sistema semeadura direta. Costa et al. (2015) e Schiavo e Colodro (2012), avaliando sistemas de integração lavoura e pecuária manejadas e sistemas de plantio direto em Latossolo, evidenciaram resultados similares aos obtidos nesse estudo.

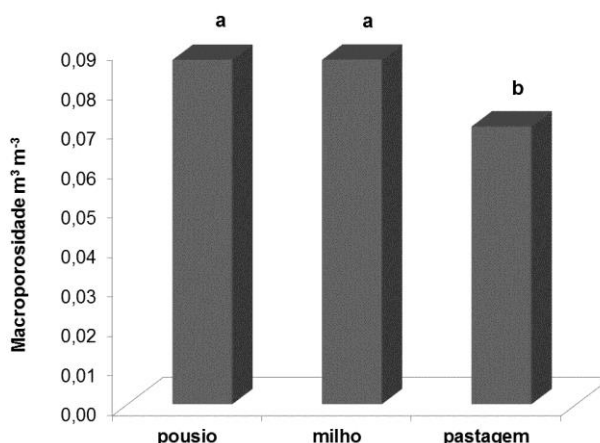


Figura 11 - Valores médios de macroporosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A microporosidade (Mi) possui estreita relação com outros atributos, a grande maioria das pesquisas converge para o fato de que, com o seu aumento, ocorre diminuição da porosidade total e da macroporosidade. Os valores médios

constatados para esse atributo no solo sob pousio, milho e pastagem foram 0,30, 0,28 e 0,27 m³ m⁻³, respectivamente. Os valores mínimos e máximos obtidos para a Mi os sistemas de usos pousio, milho e pastagem foram 0,24, 0,40, 0,17, 0,36, 0,16 e 0,32, m³ m⁻³, respectivamente.

O coeficiente de variação (CV) para Mi foram 10,12, 12,32 e 8,09% para o solo pousio, milho e pastagem respectivamente. Os dois primeiros classificados como médio e último como baixo, conforme Gomes (1990), sendo estes superiores aos descritos por Castagnara et al. (2012), porém semelhantes aos observados por Sperla et al. (2009) e Costa et al. (2015).

A análise de variância indicou efeito estatisticamente significativo dos sistemas de usos para a Mi sendo significativamente maior no solo sob pousio, não diferindo estatisticamente do milho (Figura 10). Castagnara et al. (2012) em sua pesquisa não encontrou diferença significativa entre o pousio e as área pastagem na microporosidade. Já Sperla et al. (2009) evidenciaram o aumento da microporosidade no sistema de integração lavoura-milho e pecuária em relação a pastagens perenes.

Os valores de Mi do solo sob milho são maiores que em relação a pastagem provavelmente em decorrência da ação diferenciada do sistema radicular. Segundo Venzke Filho et al. (2004) e Lanza Nova et al. (2007), não apenas o crescimento e a ação das raízes são diferenciados, mas também a massa de raízes por volume de solo, ou seja, a densidade radicular e a distribuição espacial.

Outro ponto importante a ser destacado é que no sistema de semeadura direta pouco influencia neste parâmetro conforme ratificado pelo estudo de Neto et al. (2008) que avaliou atributos físicos de um Latossolo e a produtividade de milho.

Lanza Nova et al. (2007) avaliando propriedades físicas de Argissolo submetido a diferentes alturas de pastejo em sistema de integração lavoura de milho-pecuária constataram que a microporosidade do solo não foi significativamente, alterada pelos sistemas de manejo.

Neste contexto Silva e Kay (1997) afirmam que a microporosidade é fortemente influenciada pela textura e teor de carbono orgânico e pouco influenciada pela densidade do solo, fato confirmado em estudos que avaliam atributos físicos em diferentes alturas de pastejo como os de Moreira et al. (2014); Fidalski et al. (2015) que não constaram alteração neste parâmetro.

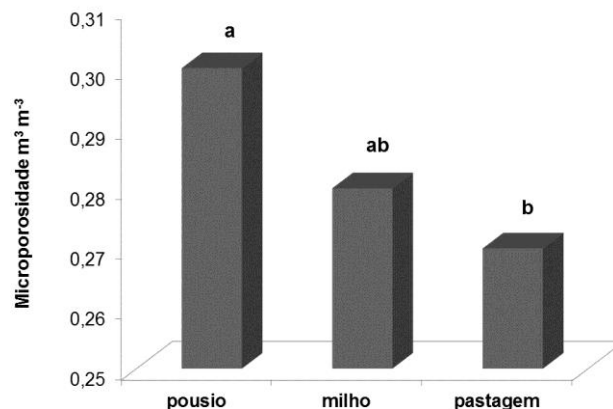


Figura 12 - Valores médios de microporosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas de letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O comportamento da resistência à penetração (RP) nos diferentes sistemas de uso em estudo está coerente com os maiores valores de densidade do solo (Figura 9) e menores de porosidade total (Figura 10), haja vista que a RP integra os efeitos da densidade (TORMENA et al., 2002) e da porosidade total. Dessa forma, os dados de porosidade total, RP e densidade do solo demonstram que o uso sob pastagem apresentou compactação do solo por estar acima dos valores críticos.

Valores de RP de 2 MPa tem sido empregado como crítica para o crescimento das plantas (LAPEN et al., 2004; BLAINSKI et al., 2008), ainda que 2,5 MPa tenha sido utilizado em solos sob pastagem (LEÃO et al., 2004) e 3,0 MPa em solos sob florestas (ZOU et al., 2000). O valor de 3,5 MPa foi considerado crítico por Tormena et al. (2007) em solo sob plantio direto, justificado pela presença de bioporos.

No solo sob pastagem foram observados os maiores valores de RP, sendo o valor médio de 2,68 MPa, o qual é 52% superior a RP do solo sob pousio. Ortigara et al. (2014) avaliaram as propriedades físicas do solo em área de pastagem rotacionada perene e constataram que o pisoteio animal ocasiona alterações na estrutura, proporcionando aumentos de densidade do solo e da resistência à penetração e redução da macroporosidade.

O solo sob milho também apresentou valores elevados para este parâmetro, o valor médio foi de 2,30 MPa, sendo 30% superior ao encontrado no pousio. Shiavo e Colodro (2015) também verificaram a mesma relação comparando esses usos. No

entanto, os mesmos autores evidenciaram um aumento de 44% no valor da RP sob o milho em comparação com áreas não pastejadas.

O solo sob pousio apresentou os menores valores de resistência a penetração, visto que o valor médio de 1,76 MPa não é considerado restritivo para o desenvolvimento de plantas pela literatura. Castagnara et al. (2012), não verificaram diferença entre o pousio e as áreas pastejadas neste atributo.

Os valores mínimos e máximos para RP para os sistemas de usos pousio, milho e pastagem foram 1,07, 2,64, 0,87, 3,40, 1,93 e 3,86 MPa, respectivamente.

Os valores do coeficiente de variação (CV) de RP foram maiores no solo sob pousio, sendo 21,02 %, em relação ao milho 20,43% e a pastagem 13,43%, sendo considerado alto para o pousio e o milho e médio para pastagem (GOMES 1990). Alguns autores já relataram que esse atributo apresenta uma alta variação espacial (CONTE et al., 2011; DEBIASI et al., 2012).

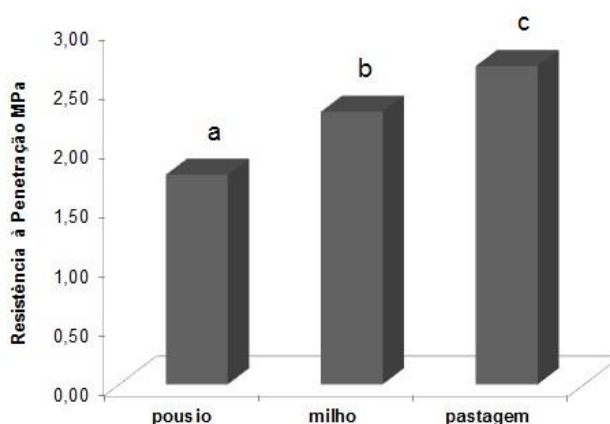


Figura 13 - Valores médios de resistência à penetração de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os valores médios dos teores de carbono orgânico total (COT) do solo sob pousio, milho e pastagem foram 14,10, 13,33, e 12,41 g.kg⁻¹, respectivamente. Os valores mínimos e máximos para o COT para os sistemas de usos pousio, milho e pastagem foram 11,41, 16,78, 12,01, 14,90, 11,10, e 17,90 g kg⁻¹ respectivamente.

Outro fator que pode ter exercido influência sobre os diferentes sistemas de uso, está relacionado a matéria orgânica (IMHOFF et al., 2002). Os teores de COT diferenciaram-se estatisticamente entre os sistemas (Figura 13). Os resultados

obtidos para o teor de COT no solo seguem em ordem decrescente nos sistemas: Pousio > Milho > Pastagem.

Tormena et al. (2008) também encontraram valores superiores de COT no pousio em relação ao cultivado. No entanto, Schiavo e Colodro (2015), não encontraram diferença significativa entre a pastagem e cultivo de milho corroborando com os resultados apresentados. Fato que deve estar associado as características de uso, visto que o pousio encontra-se em processo conservativos (ordenativos), ou seja, a energia é conservada, isto é, ela não é dissipada para o meio externo, já os sistemas milho e pastagem encontra-se em processo dissipativos que necessitam constante aporte de energia livre, a qual é utilizada para o seu estabelecimento e manutenção, isto é, para a sua organização.

Os valores do coeficiente de variação (CV) para o COT nos diferentes usos foram 9,81; 9,00 e 13,98%, respectivamente, sendo os dois primeiros classificados em baixos e o último como médio, conforme Gomes (1990). Esses valores são semelhantes aos obtidos por Castagnara et al. (2012) e Tuchtenhagen (2015).

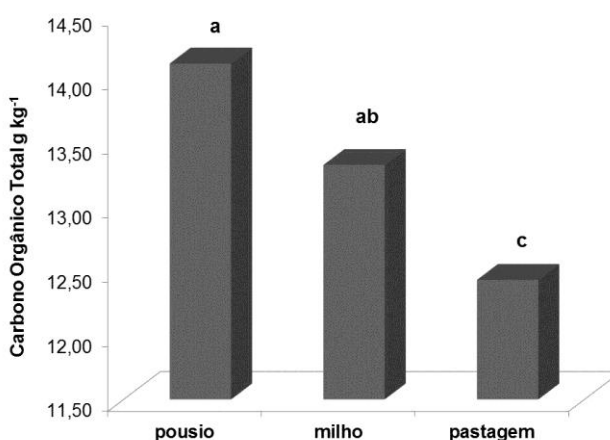


Figura 14. Teores médios do carbono orgânico total de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob os usos: pousio, milho e pastagem. Médias seguidas por letras iguais entre os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Outra evidência relevante é a tendência inversa do teor de COT com os valores da RT (Figura 15), ou seja, quanto menor a RT, maior o teor de COT. Esse comportamento também foi verificado por Chan (1995), Blanco-Canqui et al. (2005), Tormena et al. (2008), Ferreira et al. (2011), Reis et al. (2014a) e Tuchtenhagen et al. (2015). Para Cambardella e Elliot (1993), a redução dos teores de COT em solos cultivados está associada com a deterioração da estrutura física do solo.

A análise da regressão linear evidenciou a associação inversa entre a RT e COT em ambos os usos indicando que os maiores valores de RT são atribuídos em função dos menores teores de COT (Figura 15), diferente de Guimarães et al. (2009) em Latossolo argiloso e Reis et al. (2014b) em solo construído de textura franca, os quais reportaram que o aumento no conteúdo de COT foi proporcional a RT. Segundo esses autores, esse efeito deve-se à cimentação entre as partículas minerais de argila e a matéria orgânica mais humificada do solo. Segundo Zhang (1994) não somente a quantidade a matéria de orgânica pode influenciar a RT, mas também seu grau de humificação, ou seja, quanto mais humificada a matéria orgânica do solo, menor será o seu efeito em reduzir a resistência tênsil dos agregados.

Por outro lado, a matéria orgânica menos humificada induz o efeito de diluição, que implica redução da densidade ou aumento da porosidade do agregado e, conseqüentemente reduzindo a resistência tênsil dos agregados (TORMENA et al., 2008; FERREIRA et al., 2011).

No entanto, ainda persistem discussões sobre o efeito da matéria orgânica, uma vez que, poderá promover tanto aumento como redução de RT.

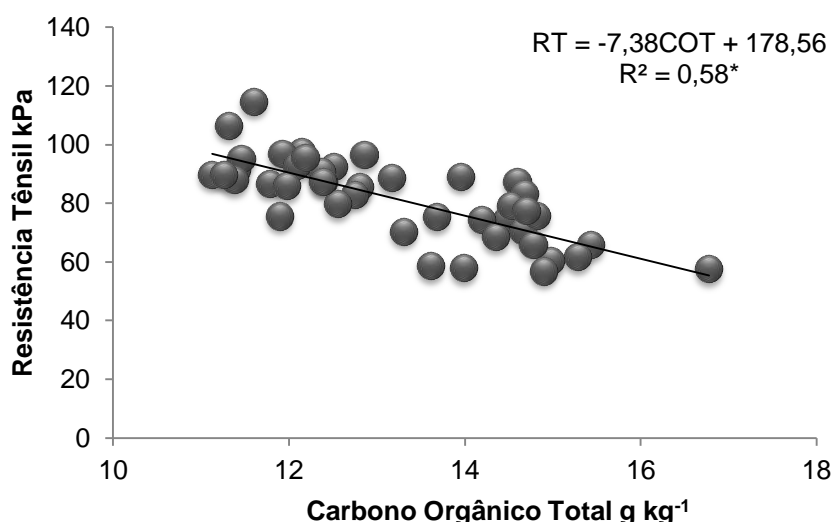


Figura 15 – Análise de regressão linear entre os parâmetros carbono orgânico total e resistência tênsil dos agregados de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. (modelo ajustado é significativo a $P \leq 0,05$ pelo teste F).

O teor de carbono e a densidade do solo sob os diferentes usos também apresentaram uma relação linear significativa e inversa (Figura 16), ou seja, quanto maior o teor de carbono, menor a densidade do solo. Calonego et al. (2012)

comparando plantio convencional, plantio direto e mata nativa em um Argissolo constatou o mesmo comportamento linear, independente do manejo ou uso do solo. Diversos estudos explicam essa relação em decorrência ao baixo peso específico da matéria orgânica e seu grau de humificação (ARAGÓN et al., 2000; DIAS JÚNIOR; MIRANDA, 2000; LIBARDI, 2005; BRAIDA et al., 2006).

Kato et al. (2010) avaliando o efeito de diferentes usos: cerrado, pastagem, pinus e eucalipto, nas propriedades físicas de um Latossolo, observaram além da correlação linear negativa entre o carbono orgânico e a densidade do solo a correlação positiva entre carbono orgânico e porosidade total, resultado diferente obtido neste do estudo, que apresentou apenas uma tendência.

Luciano et al. (2010) ratificam que a capacidade da matéria orgânica de reduzir a densidade do solo se deve ao fato de que a matéria orgânica apresenta densidade substancialmente menor do que os constituintes minerais do solo. Assim, quanto maior o teor de carbono orgânico menor a densidade do solo. Isto se relaciona com o efeito integrado dos atributos físicos e químicos do solo, os quais, em conjunto, atuam na melhoria da qualidade da estrutura.

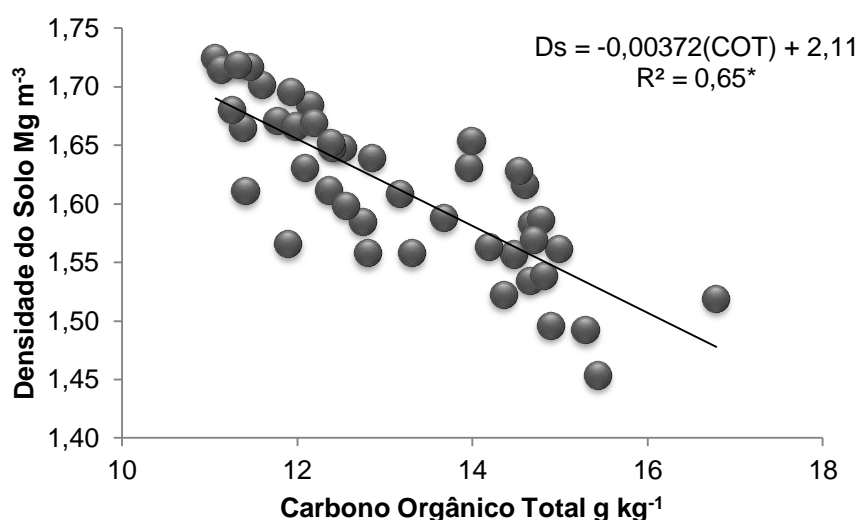


Figura 16 – Análise de regressão linear entre os parâmetros carbono orgânico total e densidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob usos: pousio, milho e pastagem. (modelo ajustado é significativo a $P \leq 0,05$ pelo teste F).

No solo sob pastagem, foram observados os maiores valores de RT, de Ds e de RP e menores de porosidade. Esses resultados podem estar associados à presença dos animais no solo sob pastagem, uma vez que, a magnitude da pressão

aplicada na superfície pode favorecer a coalescência das partículas do solo aumentando a compactação entre elas (HORN et al., 2003).

Algumas proposições para melhoria da qualidade física estrutural do solo em pastagem podem ser observadas na literatura. Bertol et al. (2000) em Cambissolo constataram que o controle da taxa de lotação animal em função da produção de forragem promoveu o incremento na qualidade estrutural do solo. Petean et al. (2009) verificaram em um Latossolo que a altura de pastejo influencia de maneira significativa no comportamento das propriedades físicas do solo. Condições de umidade elevadas associadas a baixa cobertura vegetal do solo são potencializadas no momento do pastejo o que evidencia a necessidade de manutenção da cobertura vegetal adequada, a fim de mitigar esse efeito do pisoteio sobre a qualidade física dos solos (SILVA, 2003; SARMENTO, 2008).

Os parâmetros RT, Ds, Pt, Ma, Mi, RP e COT foram eficientes na avaliação da qualidade estrutural, porém mais estudos precisam ser realizados, para que valores críticos destes parâmetros possam ser definidos adequadamente em diferentes tipos de solos, submetidos a diferentes usos e manejos em áreas de atividade agrícola e de pecuária.

O solo é um dos fatores de produção mais importantes na atividade pecuária, como também é o indicador muito sensível em relação aos impactos ambientais causados por atividades agropecuárias, porque praticamente qualquer inadequação no manejo resultará em degradação da qualidade do solo.

O estudo apontou a importância da avaliação da qualidade física estrutural do solo em propriedades leiteiras, ressaltando a necessidade de conhecimento e orientação para uma forma de produção mais sustentável, com procedimentos que minimizem os impactos adversos. Os resultados obtidos poderão auxiliar na tomada de decisões e fornecer indicativos de medidas mitigatórias no que diz respeito à qualidade do solo.

Busca-se a racionalização do uso através de técnicas e procedimentos que resultem na conservação do solo, através de mudanças de comportamento e conscientização, sem que haja comprometimento da produção ao longo do processo. A adoção de métodos que previnam a degradação da qualidade física estrutural como as citadas anteriormente apresenta valia para a manutenção de sistemas agropecuários.

5.2 Diferentes posições no relevo

Os resultados da resistência tênsil, friabilidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e carbono orgânico total do solo sob o mesmo uso e diferentes posições no relevo (topossequências) são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores da resistência tênsil (RT, kPa), friabilidade (F, adimensional), porosidade total (Pt, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), macroporosidade (Ma, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), microporosidade (Mi, $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e teor de carbono orgânico total (COT, %) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob mesmo usos, e diferentes topossequências na camada de 0,00 a 0,10 m, Pelotas-RS.

Usos	Topossequências	RT	F	PT	Ma	Mi	COT
Pousio	Terço Superior	71,93	0,35	0,40	0,09	0,31	1,41
	Terço Médio	73,35	0,38	0,39	0,09	0,31	1,34
	Terço Inferior	76,90	0,39	0,39	0,09	0,29	1,48
Milho	Terço Superior	89,15	0,39	0,36	0,09	0,28	1,34
	Terço Médio	76,92	0,38	0,37	0,09	0,28	1,26
	Terço Inferior	85,38	0,40	0,37	0,08	0,29	1,39
Pastagem	Terço Superior	94,42	0,39	0,34	0,07	0,27	1,21
	Terço Médio	83,39	0,38	0,34	0,07	0,27	1,28
	Terço Inferior	88,77	0,40	0,34	0,08	0,27	1,24

Todos esses atributos apresentaram tendências de variação nas diferentes posições na paisagem (topossequências), porém não significas na análise da variância. Alguns trabalhos têm demonstrado que a diferenças texturais do solo está diretamente relacionada com a forma da paisagem (CUNHA et al., 2005; SOUZA et al., 2006).

Os atributos como RT, F, PT, Ma, Mi e COT, não foram sensíveis em diferentes feições do relevo (Tabela 4). Tal fato, deve estar associada a reduzida variação da composição granulométrica da camada de solo estudada e ao declive suave entre as diferentes posições no relevo (Tabela 2), visto que não ocorre diferenças texturais do solo em relação aos usos e topossequências. Diversos estudos ratificam a relação desses atributos com a textura do solo (TAVARES FILHO; RIBON, 2008; MONTANARI et al., 2015).

A RT e F são consideradas parâmetros sensíveis para avaliação de sistemas de preparo e usos do solo (TORMENA et al., 2008a), sendo influenciados por fatores como a textura dos solos (LEY et al., 1993). Imhoff et al. (2002) avaliando a relação

entre RT, F e as propriedades intrínsecas do solo (teor de argila + silte) em topossequência de Latossolos, notaram a influência da granulometria e mineralogia dos solos na RT. Segundo Ley et al. (1993) as frações de argila e silte parecem atuar como material cimentante entre partículas grandes, especialmente em solos tropicais fracamente estruturados com argila variando de 6 a 45 %. Em decorrência dessa relação entre a composição granulométrica e a RT associada a homogeneidade da classe textural do solo em estudo, pode estar associada reduzida variabilidade do parâmetro nas topossequências.

Os resultados obtidos para as porosidades (Pt, Ma e Mi) nas diferentes posições da paisagem sob mesmo uso são muito similares entre si. Alguns autores ressaltam que estes atributos estão diretamente relacionados com a textura do solo, fator determinante das propriedades de retenção e capacidade de armazenamento de água e nutrientes, da distribuição de poros e, conseqüentemente, das propriedades de condução de água e gases, afetando a dinâmica das trocas com plantas e atmosfera (REICHARDT; TIMM, 2012; FERREIRA, 2010).

A matéria orgânica é um componente bastante sensível às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo agrícola (SILVA et al., 2012). Os teores de COT obtidos sob mesmo uso e diferentes topossequências são estatisticamente iguais, resultado que converge com estudo de Faria et al. (2010) avaliaram este parâmetro do solo em topossequência sob o uso de pastagem em Latossolo e não constataram diferença estatística entre o teor de COT sob mesmo uso em topossequências diferentes.

Como não foram verificados efeitos estatisticamente significativos entre os atributos mencionados nas diferentes posições na paisagem sob mesmo uso, sugere-se que a variação dos parâmetros deve-se aos sistemas de uso do solo. Nesse sentido Montanari et al. (2015) ressaltam que variabilidade espacial de atributos pode ser reduzida com o emprego de práticas de manejo do solo de acordo com a necessidade de cada região amostrada.

Somente os atributos Ds e RP nos sistemas de usos sob pousio e sob milho tiveram efeito significativo (Tabela 5) no teste variância em diferentes topossequências.

Tabela 5 – Valores médios da densidade do solo (D_s , $Mg\ m^{-3}$) e da resistência à penetração (RP, MPa) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob mesmos usos e diferentes topossequência, na camada de 0,00 a 0,10 m, Pelotas-RS.

Usos	Topossequências	D_s	RP
Pousio	Terço Superior	1,53 a	1,61 a
	Terço Médio	1,55 ab	1,64 a
	Terço Inferior	1,58 b	2,03 b
Milho	Terço Superior	1,65 a	2,57 a
	Terço Médio	1,57 b	1,91 b
	Terço Inferior	1,60 ab	2,40 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas dentro de cada variável, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %.

No solo sob pousio, o comportamento da D_s , está coerente com a RP, haja vista que estes parâmetros apresentam uma relação direta e positiva (TORMENA et al., 2002). Dessa forma, foi demonstrado um incremento da compactação do solo conforme diminuiu a altitude (terço superior < terzo médio < terzo inferior). Braga et al. (2015) avaliando propriedades físicas em topossequência de um Argissolo-Gleissolo também constataram uma maior densidade na porção inferior em relação porção superior da topossequência no Argissolo.

No solo sob milho, o comportamento dos parâmetros segue a mesma tendência do solo sob pousio, porém a redução dos valores de D_s e de RP nas posições de relevo, terzo médio e no terzo inferior, pode estar relacionada com o menor teor da fração argila (Tabela 2), estando associada à perda superficial de solo no horizonte A, por processos erosivos. Meireles et al. (2012) estudando as variações dos atributos físicos de uma topossequência de Latossolo-Nitossolo observaram que os teores da fração argila, nos horizontes superficiais da transecção, diminuíram do topo em relação a topossequência central, resultado que converge com os obtidos neste estudo. Nesse sentido, Santos (2004) ressalva que quando a vegetação nativa é convertida para cultivada pode haver perda de nutrientes e sedimentos ao longo do declive. Neste contexto, Faria et al. (2010) que descrevem que cultivo em topossequência pode alterar as frações granulométricas, devido à erosão laminar.

A análise de regressão linear foi significativa entre os parâmetros RP e D_s (Figura 17 e 18) em ambos os usos (pousio e milho), confirmando a relação positiva

entre estas variáveis e corroborando com Klein (2014), Ortigara et al. (2014) e Torres et al. (2015).

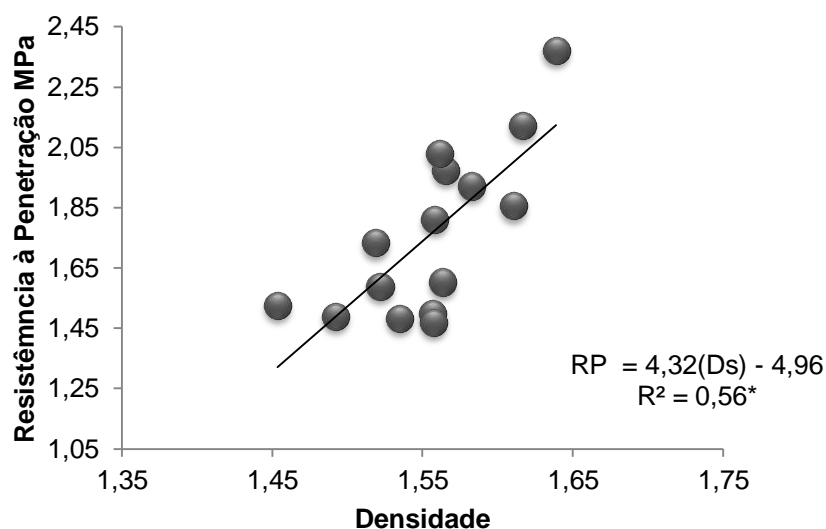


Figura 17 – Análise de regressão linear dos parâmetros Ds e RP de de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob uso pousio nas diferentes topossequências (modelo ajustado é significativo a $P \leq 0,05$ pelo teste F).

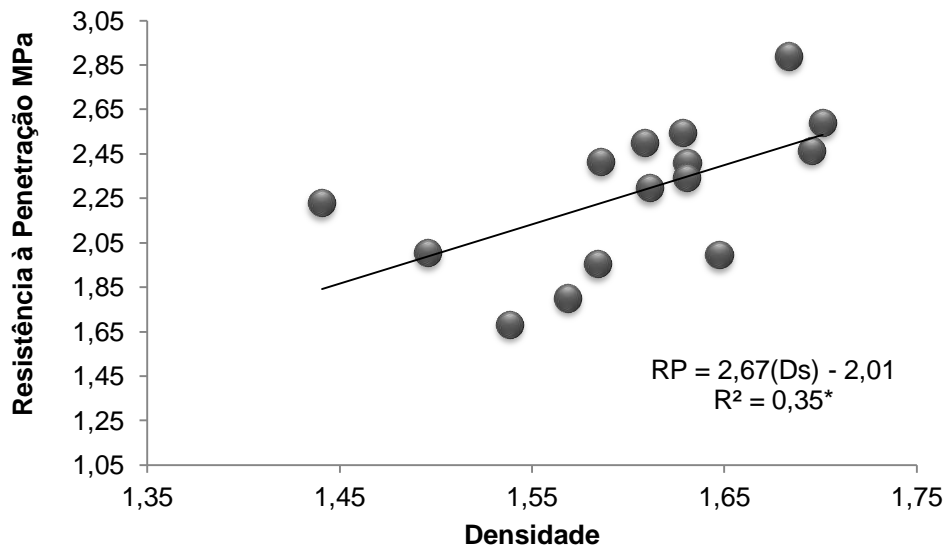


Figura 18 – Análise de regressão linear dos parâmetros Ds e RP do solo para o uso milho nas diferentes topossequências (modelo ajustado é significativo a $P \leq 0,05$ pelo teste F).

Alves e Ribeiro (1995) destacam a importância de estudos de solos em topossequência, pois estes permitem uma visão global e integrada dos vários componentes da paisagem, da pedogênese e do comportamento atual dos solos.

Permitem elucidar as dinâmicas interna e externa do solo, a partir das suas variações verticais e laterais nas vertentes da bacia hidrográfica.

Braga et al. (2015) descrevem que os compartimentos da topossequência podem apresentar propriedades únicas, os solos tendem a apresentar comportamento distinto em relação ao uso agrícola, principalmente por causa das propriedades físicas, que são influenciadas pelo uso e manejo do solo e estão diretamente relacionadas com crescimento das plantas.

Torres et al. (2015a) ressaltam que o monitoramento da resistência à penetração, densidade e o conteúdo de água do solo no momento de iniciar e após as atividades de uma área agrícola são ferramentas imprescindíveis ao planejamento das práticas de cultivo a serem adotadas, pois estes atributos quando avaliados continuamente permitem monitorar a eficiência do sistema de uso e manejo.

6. Conclusões

Todos os atributos avaliados, exceto a friabilidade, mostraram-se sensíveis na avaliação da qualidade estrutural do solo sob diferentes usos;

A resistência tênsil de agregados apresenta tendência inversa e significativa com o teor de carbono orgânico total nos diferentes sistemas de usos;

O carbono orgânico total apresenta relação significativa inversa com a densidade do solo sob diferentes usos;

O solo sob pastagem apresentou atributos que refletem redução na qualidade estrutural do solo, quando comparado com solo sob pousio e sob cultivo com milho;

A adoção do pousio contribuiu de forma significativa para a melhoria da qualidade física, quando comparado ao solo sob pastagem e cultivo de milho;

A densidade do solo e a resistência à penetração foram sensíveis à avaliação da qualidade estrutural do solo em topossequências diferentes, sob mesmo uso.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.519-531, 2004.
- ALVES, A. J. O.; RIBEIRO, M. R. Caracterização e gênese dos solos de uma topossequência na microrregião da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p. 297-305, 1995.
- ALVES, D. R. Industrialização e comercialização do leite de consumo no Brasil. In: Produção de Leite e Sociedade (on line). Belo Horizonte: FEPMVZ, 2001. Disponível em: <http://www.ablv.org.br/Index.cfm?fuseaction=artigo>. Acesso em: 21 maio 2015.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p. 617-625, 2007.
- ARAGÓN, A.; GARCIA, M. G.; FILGUEIRA, R. R.; PACHEPSKY, Y. A. Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test; The relationship with organic carbon and water content. **Soil and Tillage Research**, v.56, p. 197- 204, 2000.
- ARAÚJO, F. S.; SALVIANO A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M.; SOUZA, A.C.M. Physical quality of a yellow Latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.717-723, 2010.
- ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; MEDEIROS, C. J.; MADARI E. B.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.309-316, 2015.
- BARZEGAR, A.R.; MURRAY, R.S.; CHURCHMAN, G.J. RENGASAMY, P.The strength of remolded soils as affected by exchangeable cations and dispersible clay. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.185-199, 1994.
- BAVOSO, A. M.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.227-234, 2010.
- BELTRAME, L. F. S.; TAYLOR, J. C. Causas e efeitos da compactação do solo. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.33, p.59-62, 1980.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A.; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionado a diferentes níveis de oferta de forragem de capim elefante anão cv Motti. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1047-1054, 2000.

BITENCOURT D.; PEGORARO, L. M. C.; GOMES, J. F (Eds.). Sistemas de pecuária de leite: uma visão na região de Clima Temperado. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, p.11-26, 2000.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. L. M. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.975-983, 2008.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R.; OWENS, L. B.; POST, W. M.; IZAURRALDE, R. C. Mechanical properties and organic carbon of soil aggregates in the Northern Appalachians. **Soil Science Society of America Journal**, v.69, p.1472-1481, 2005.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. 12th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007, 980p.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO J. G. L.; MIERZWA J. C.; EIGER S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005, 317p.

BRAGA, F. V. A.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; VOGELMANN, E. S.; PADRÓN, R. A. R. Propriedades mecânicas e permeabilidade ao ar em topossequências Argissolo-Gleissolo: variação no perfil e efeito de compressão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1025-1035, 2015.

BRAIDA, J. A. et al. Elasticidade do solo em função da umidade e do teor de carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.477-485, 2008.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p. 605 - 614, 2006.

BRADFORD, J. M.; GUPTA, S. C. Compressibility, In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. Part 1. 2 ed. Madison, American Society of Agronomy, p.279- 492. 1986.

BRASIL, **Lei Federal de nº 12.805 de 29 de abril de 2013 que institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12805.htm. Acessado em: Novembro de 2014.

BRAUNACK, M. V.; HEWITT, J. S.; DEXTER, A. R. Brittle fracture of soil aggregates and the compaction of aggregate beds. **Journal of Soil Science**, v.30, p.653-667, 1979.

BREWER, R.; SLEEMAN, J. R. Soil Structure: attempts at its quantitative characterization. **Journal of Soil Science**, v.30, p.172-185, 1960.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2183-2190, 2011.

CALONEGO, J. C.; SANTOS C. H.; TIRITAN, C.S.; JUNIOR, J. R. C; Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, p. 128-135, 2012.

CAMARGO O. A.; ALLEONI, L. R. F. Causas da Compactação do solo. 2006. Artigo em Hyper texto Disponível em:
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Causas+da+compacta%25E7%25E3o+do+solo_000fhdniwzj02wyiv80efhb2a465jfj9.pdf

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.

CASTAGNARA, D. D.; JUNIOR, N. K.; ZOZ, T.; PIANO, J. T., OLIVERIA, P. S. R.; SEIDEL, E. P. Atributos físicos de Latossolo vermelho sob pousio ou cultivado com forrageiras tropicais sob pastejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 150-158, 2012.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J.P; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.254-258, 2001.

CHAN, K. Y. Strength characteristics of a potentially hardsetting soil under pasture and conventional tillage in the semi-arid region of Australia. **Soil and Tillage Research**, v.34, p.105-113, 1995.

CHENG, H. H.; KIMBLE, J. M. **Characterization of soil organic carbon pools**. In: Lal, R.; Kimble, J.M.; Follet, R. F.; Stewart, B.A. (Eds). Assessment methods for soil carbon. Boca Raton, Lewis Publishers. p.117-130, 2001.

CHIEZA, E. D.; LOVATO, T.; ARAUJO, E. S.; TONIN, E. J. Propriedades físicas do solo em área sob milho em monocultivo ou consorciado com leguminosas de verão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1393-1401, 2013.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.37-43, 2012.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria Orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

CORREA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p. 203-209, 2002.

COSTA, O. V. **Impacto animal sobre o componente abiótico do solo: ciclagem de nutrientes e compactação**. Viçosa: UFV, 30p. 2000.

COSTA, R. N.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; YOKOBATAQUE, K. L.; FERREIRA J. P.; PARIS, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z.; Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.852-863, 2015.

CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PEREIRA, G. T.; LEPSCH, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma seqüência Arenito-Basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.81-90, 2005.

CURY, B. **Guia para plantio direto**. Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2000.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, v.42, n.7, p.1180-1186, 2012.

DEXTER, A. R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.31, p.139-147, 1985.

DEXTER, A.R.; WATTS, C. Tensile strenght and friability. In: SMITH, K. & MULLINS, C. **Soil and environmental analysis: Physical methods**. 2.ed. New York, Marcelo Dekker, p.401-430, 2000.

DEXTER, A. R. Soil physical quality.Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p.201-214, 2004.

DIAS, L. E. Uso de indicadores de qualidade de solo no monitoramento de processos de recuperação de áreas degradadas. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.6-8, 2002.

DIAS JUNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, p. 337–346, 2000.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society America, (SSSA Special publication, 35) p.3- 21. 1994.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. (Documento 132). Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, Brasília, Sistema de Produção de Informação, 306 p. 2013.

EMBRAPA. **Sistema de Produção de Leite**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteCerrado/index.html>. Acessado em: Setembro de 2014.

EMBRAPA. **Gado de Leite**, Circular Técnica, 66. 37p. 2001. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/R6606n_000fkv0o0eq02wyiv80sq98yq4eecsclu.pdf. Acessado em: Setembro de 2014.

FARIA, A. F. G. Influência do Manejo do Solo nas Propriedades Químicas e Físicas em Topossequência na Bacia do Rio Araguaia, estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.517 - 524, 2010.

FERRAZ, J. V. **Anualpec 2013: anuário da pecuária brasileira**. 20ª ed. São Paulo: FNP, 2013.

FERREIRA, M. M. I - **Caracterização Física do Solo**. In: LIER, Q. J. V. (Ed). Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

FERREIRA, A.O; SÁ, J.C.M.; GIAROLA, N.F.B. HARMES M.G., BRIEDS C. Resistência tênsil de agregados afetada pelo conteúdo de carbono orgânico em um Latossolo vermelho com textura média e argilosa sob plantio direto. **Synergismus scyentifica UTFPR** , Pato Branco, 2009.

FERREIRA A. O, SÁ J. C. M., GIAROLA N. F. B., HARMES M. G., BRIEDS C. Variação na resistência tênsil de agregados em função do conteúdo de carbono orgânico em dois solos da região de campos gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.437 - 445, 2011.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; BARBERO L. M.; LUGÃO, S. M. B.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, p.1583-1590, 2008.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; Intervalo hídrico ótimo de um Latossolo vermelho distrófico, após o primeiro período de pastejo contínuo de brachiaria ruziziensis, em sistema integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.775 – 783, 2013.

FIDALSKI, J.; ALVES, S. J.; Altura de pastejo de braquiária e carga animal limitada pelos atributos físicos do solo em sistema integração lavoura-pecuária com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.864 - 870, 2015.

OSVALADO FILHO, O. G. **Qualidade física da cama semeadura do solo em sistemas de manejo**. 2012. 157 p. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição Plantas – Escola Superior Luiz de Queiroz (SP).

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.

GOLDERG, S.; KAPOOR, B.S.; RHOADES, J.D. Effect of aluminum and iron oxides and organic matter on flocculation and dispersion of zone soils. **Soil Science**, v150, p. 588-593, 1990.

GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 13.ed. Piracicaba: USP, 1990. 467p.

GOMES, E. P. C.; SUGIYAMA, M.; ADANS, C.; PRADO, H. M.; JUNIOR, C .J. F. O. A sucessão florestal em roças em pousio: a natureza está fora da lei? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 41, p. 343-352, 2013.

GOOGLE, **Programa Google Earth**, 2015. Data de acesso: 15/08/2015.

GOVAERTS, B.; SAYRE, K. D.; DECKERS, J. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. **Soil and Tillage Research**, v.87, p. 163-174. 2006.

GRABLE A. R.; SIEMER E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corns roots. **Soil Science Society of America Proceedings**. V. 32, p. 6-180, 1968.

GUERIF, J. L. analyse de laporosité: application à l'étude du compactage des sols. In: MONIER, G.; GROSS, M. J. (Eds.). Soil compaction and renegeration. **Rotterdam: AAB**, p. 122-131, 1987.

GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C .A.; ALVES, S. J.; FIDALSKI, J.; BLAINSKI, E. Tensile strength, friability and organic carbon in an oxisol under a crop-livestock system. **Scientia Agricola**, 66:499-505, 2009.

HERMLE, S.; ANKEN, T.; LEIFELD, J.; WEISSKOPF. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold temperate conditions. **Soil & Tillage Research**, v.98, p. 94–105, 2008.

HILLEL, D. **Solo e Água: Fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: UFGRS, 1970. 231p.

HORN, R. et al. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties instructed arable soils. **Soil and Tillage Research**, v.73, p.101-106, 2003.

IBGE. Pesquisa Municipal de Pecuária. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2013/>. Acessado em:
Setembro de 2014.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DEXTER, A. R. Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.1656-1661, 2002.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R.S.;ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.5, p.1131-1140, 2007.

LAPEN, D. R.; TOPP, G. C.; GREGORICH, E. G.; CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. **Soil and Tillage Research**, 78:151-170, 2004.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:415-423, 2004.

LEY, G. J.; MULLINS, C. E.; LAL, R. Effects of soil properties on the strength of weakly structures tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v.28, p.1-13, 1993.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p.277-294, 1985.

LI, J. T.; ZHONG, X. L.; WANG, F. ZHAO, Q. G. Effect of poultry and livestock manure on soil physical and biological indicators in a rice-wheat rotation system. **Plant and Soil Environment**, v.57, n.8, p.351-356. 2011.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005, 335p.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA F. T.; KURTZ C.; FAYAD, J. A.; Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.9, p. 09-19, 2010.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 133-146, 2009. Número especial.

MACKS, S. P.; MURPHY, B. W.; CRESSWELL, H. P.; KOEN, T.B. Soil friability in relation to management history and suitability for direct drilling. **Australian Journal of Soil Research**, v.34, p.343-360, 1996.

MARQUES, S. R. WEILL, M. A. M.; SILVA L. F. S. Qualidade física de um Latossolo vermelho, perdas por erosão e desenvolvimento do milho em dois sistemas de manejo. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 967-974, 2010.

MATERECHERA, S. A.; DEXTER, A. R.; ALSTON, A. M. Formation of aggregates by plant roots in homogenized soils. **Plant Soil**, v.142, p.69-79, 1992.

MENINO, I. B.; NETO, J. M. M.; BARROS, A.D.; SANTOS, E. S. Atributos físicos como indicadores de qualidades dos Vertissolos em diferentes sistemas de manejo. **Revista de Educação Agrícola Superior**, v.27, p.106-112, 2012.

MEIRELES, H. T.; JÚNIOR, J. M.; COSTA, M. C. C.; PEREIRA, G.T.; Relações solo-paisagem em topossequência de origem basáltica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 129-136, 2012;

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 5ª Ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012.

MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; BETIOLI, JUNIOR E.; PETEAN, L. P.; ALVES, S.J. Influência da altura de pastejo de azevém e aveia em atributos físicos de um Latossolo vermelho distroférrico, após sete anos sob integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.1315-1326, 2014.

MONTANARI, R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L. E.; CORREA, A. R.;(3), OLIVEIRA, I. S.; QUEIROZ, H. A.; TOMAZ, P. K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono cerrado-pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.385-396, 2015.

MUNKHOLM, L.J.; SCHJØNNING, P. Structural vulnerability of a sandy loam exposed to intensive tillage and traffic in wet conditions. **Soil and Tillage Research**, v.79, p.79-85, 2004.

NETO, E. L. S.; ADRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, p.255-260, 2008.

KAY, B. D.; DEXTER, A. R. The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a Red-Brown Earth. **Australian Journal Soil Research**, v30, p.297-310, 1992.

KATO, E.; RAMOS, M.L.G; VIEIRA, D. F. A.; MEIRA, A. D.; MOURÃO, V. C. propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Latossolo vermelho-amarelo do cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, p. 732-738, 2010.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, v.18, p.45-54, 1998.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**. 3ed. Passo fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2014. 263p.

KLUTE, A. **Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review**. In: VANDOREN, D. M.; ALLMARAS, R. R.; LINDEN, D. R.; WHISLER, F. D. (Ed.) Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Madison: ASA, p.29-43. 1982.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C. A., ed. **Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, p.635-662. 1986.

KUNS, M.; GONÇALVES, A. D. M, REICHERT, J. M; GUIMARÃES R.M.L.; REINERT D.J. Compactação do solo na integração soja-pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1669-1708, 2013.

ORTIGARA, C.; KOPPE, E.; LUZ, F. B.; BERTOLLO, A. M.; KAISER, D. R.; SILVA, V.R. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 38, p. 619-626. 2014.

PEIXOTO, R. T. G. **Matéria orgânica e a dinâmica das cargas elétricas dos solos: processos e consequências**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro : SBCE/Embrapa-CNPQ, 32p. CDROM, 1997.

PERFECT, E.; KAY, B. D.; SILVA, A. P. Influence of soil properties on the statistical characterization of dry aggregate strength. **Soil Science Society of America Journal**, v.59, p.532-537, 1995.

PEREIRA, A. V.; CÔSER, A. C. **Forragem para corte e pastejo**. 2010. Disponível em:http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/R6606n_000fkv0o0eq02wyiv80sq98yq4eecsllu.pdf. Acessado em Julho de 2015.

PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A; FIDALSK, J.; ALVES S. J. Altura de pastejo de aveia e azevém e qualidade física de um Latossolo vermelho distroférrico sob integração lavoura-pecuária. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, suplemento 1, p.1009-1016, 2009.

RAHIMI, H.; PAZIRA, E.; TAJIK, F. Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on tensile strength of aggregates. **Soil and Tillage Research**, v.54, p.145-153, 2000.

RAMPAZZO, S.E. **A questão ambiental no contexto do desenvolvimento econômico**. In: BECKER, D. F. (Org.). **Desenvolvimento sustentável: necessidade e/ou possibilidade?** Santa Cruz do Sul: EDUNISC, p. 157-188, 1997.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A.; Resistência tênsil de agregados e compressibilidade de um solo construído com plantas de cobertura em área de mineração de carvão em Candiota, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.669-678, 2014. a

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A. DUPON, P. B. PILLON C. N.; Tensile strength and friability of an Alfisol under agricultural management systems, **Scientia Agricola** v.71, p.163-168, 2014B.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2.ed. Barueri: Manole, p.500, 2012.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. **Models for the estimation of the physical quality of a Yellow Red Latosol (Oxisol) under pasture**. Brazilian Archives of Biology and Technology, v.47, p.25-31, 2004.

RIBON, A. A.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. P. C.; FERNANDES, K. L.; HERMÓGENES, V.T.L. Alterações na estabilidade de agregados de Latossolo e argissolo em função do manejo, na entrelinha da seringueira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, p.1065-1071, 2014.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina**, Londrina, v.26, p.321-344, 2005.

ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSE, H. F.; MORAES, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.18, n.3, p.491-497, 1994.

SANTOS, A. C. **Fertilidade do solo e redistribuição de ¹³⁷Cs em função da cobertura vegetal, relevo, e classes texturais, em uma microbacia hidrográfica do Estado da Paraíba**. 2004. 67p. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nuclear, Recife, Universidade Federal de Pernambuco.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, v.33, p. 477- 486, 2003.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA P. M.; BECQUER T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.1339-1348, 2011.

SCHIAVO, J. A.; COLODRO, J. Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, Campinas, v. 71, p. 706-712, 2012

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA L. M. Índices no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 338-345, Maio/Junho. 2012.

SILVA, L. M. V.; PASQUAL, A. Dinâmica e modelagem da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. **Energia na agricultura**, v.14, p.13-24, 1999.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.877-883, 1997.

SILVA, R. F.; BORGES, C. D.; GARIB, D. M.; MERCANTE, F. M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um Argissolo Vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2435-2441, 2008.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.191-199, 2000.

SINGER, M.; EWING, S. **Soil quality**. In: SUMMER, M.E., ed. Handbook of soil science. Boca Raton, CRC, p. 271-298, 2000.

SHANMUGANATHAN, R. T.; OADES, J. M. Effect of dispersible clay on the physical properties of the B horizon of a Red-brown Earth. **Australian Journal of Soil Research**, v.20, p. 315-324, 1982.

SHUKLA, M. K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil and Tillage Research**, 87:194-204, 2006.

SOUTO, M. S. **Pastagem de aveia e azevém na integração lavoura pecuária: Produção de leite e características do solo**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2006.

SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G. T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um Latossolo em Jaboticabal- SP. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.3, p.486-495, 2003.

SOUZA, C. K.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M.C.C. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. **Científica**, v.34, p. 249-254, 2006.

SPERA, T. S.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R. S.; TOMM G. B. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 129-136, 2009.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, Amsterdam, 114:143-144, 2003.

STEPNIEWSKI, W. et al. **Effects of compaction on soil aeration properties**. In: SOANE, B. D.; OUWERKERK, C. (Ed.) Soil compaction in crop production. Amsterdam: Elsevier, p. 167-169, 1994.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M. **Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo**. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 15p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento) 2005.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo a penetração em relação ao número de amostras e ao tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 487-494, 2008.

THOMASSON, A. J. Towards an objective classification of soil structure. **Journal of Soil Science**, v.29, p.38-46, 1978.

TORMENA C. A., BARBOSAM. C., COSTA A .C. S. Densidade, porosidade e resistência a penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; JUNIOR, W. R. Resistência tênsil e friabilidade de um Latos solo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 33-42, 2008a.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, A. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; SILVA, A. P. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um Latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 943-952, 2008b.

TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; ARAÚJO, M. A.; PINTRO, J. C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, 65-71, 2004.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M.C, COSTA, A. C. S, GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, p.795-801, 2002.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31 p. 211-219, 2007.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L.; SOUSA, Z. N. Atributos físicos de um Latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.39 p. 428-437, 2015a.

TORRES, J. L. R.; COSTA, D. D. A.; NETO, O. F. S.; ARAUJO A. S.; SILVA, V. R.; VIERA, D. M. S. Avaliação da resistência à penetração e densidade do solo num Latossolo sob semeadura direta há doze anos. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 8, p.131 – 140, 2015b.

TUCHTENHAGEN, K. I. **Qualidade física de um Argissolo sob a influência de diferentes doses de cinza de casca de arroz**. 2015. 122 p. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água) - Universidade Federal de Pelotas (RS).

TUCCI, C.E.M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

UTOMO, W. H.; DEXTER, A. R. **Soil friability**. Journal of Soil Science, v.32, p.203-213, 1981.

VEIGAS, M.; DURIGON, L.; PANDOLFO C. M.; JUNIOR A. A. C. Atributos de solo e de plantas afetados pelo manejo da pastagem anual de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.3, p.444-450, mar, 2012.

VENZKE FILHO, S.; FEIGL, B.; PICCOLO, M.; FANTE JUNIOR, L.; NETO, M.; CERRI, C. Root systems and microbial biomass under no-tillage system. **Scientia Agricola**, v.61, p.529-537, 2004.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743-755, 2009.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

VIANA, E. T.; BATISTA M. A.; TORMENA C. A.; COSTA A. C. S.; INOUE T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 2105-2114, 2011.

VIEGA, M.; PANDOLFO, C. M.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Atributos de solo e de plantas afetados pelo manejo da pastagem anual de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v.42, p.444-450, 2012

WATTS, C. W.; DEXTER, A. R.; LONGSTAFF, D. J. An assessment of the vulnerability of soil structure to destabilisation during tillage. Part II. Field trials. **Soil and Tillage Research**, v.37, p. 175-190, 1996.

WATTS, C. W.; DEXTER, A. R. Soil friability: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. **European Journal of Soil Science**, v.49, p.73-84, 1998.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In HILLEL, D. **Application of soil physics**. Academic Press p. 319 – 344, 1980.

ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G.; HUDSON, I. Least limiting water range: a potential indicator of physical quality of forest soils. **Australian Journal Soil Research**, v.38, p.947-958, 2000.

Apêndices

Apêndice A – Percentuais de argila, silte e areia de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos na camada de 0,00 a 0,10 m, Pelotas, RS.

Usos	Argila	Silte	Areia
Pousio	17,73	23,82	59,43
	22,08	13,85	64,40
	18,27	20,02	62,97
	18,11	15,20	69,13
	17,79	17,90	66,23
	19,43	23,56	57,90
	20,71	20,90	59,67
	19,55	20,14	61,40
	19,82	19,23	61,63
	17,31	17,13	66,60
	22,74	16,38	62,00
	20,27	15,56	63,90
	20,52	15,95	64,73
	18,03	17,66	65,70
	18,84	18,94	64,63
Milho	17,86	17,94	64,97
	19,00	18,83	63,17
	22,03	16,23	60,90
	23,92	13,34	63,80
	21,54	14,17	64,83
	11,61	20,31	68,37
	12,26	18,60	68,50
	19,13	19,25	62,97
	12,94	17,22	69,27
	9,30	19,73	71,63
	11,00	21,70	67,67
	11,12	18,62	70,50
	18,85	15,19	64,97
	21,02	20,28	59,57
	22,69	19,75	59,50
Pastagem	13,83	18,66	68,63
	15,21	18,07	68,83
	18,51	17,68	64,77
	14,75	15,53	71,17
	18,09	20,47	62,37
	18,57	15,12	67,57
	18,23	15,98	66,87
	18,61	16,90	65,50
	17,43	15,21	68,27

Apêndice A – Percentuais de argila, silte e areia de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos na camada de 0,00 a 0,10 m, Pelotas, RS (Continuação).

Usos	Argila	Silte	Areia
Pastagem	16,17	15,52	70,07
	17,73	13,64	68,97
	7,86	26,40	65,90
	7,86	27,15	65,40
	18,43	16,10	67,53
	18,71	14,94	67,90

Apêndice B – Resistência Tênsil (RT, kPa,) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS.

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	RT	RT
Pousio	Terço Superior	Ponto 1	R1	65,01	65,54
			R2	65,35	
			R3	66,26	
		Ponto 2	R1	71,10	74,08
			R2	81,05	
			R3	70,09	
		Ponto 3	R1	75,82	75,35
			R2	77,27	
			R3	72,95	
		Ponto 4	R1	70,49	74,18
			R2	79,82	
			R3	72,22	
		Ponto 5	R1	69,58	70,52
			R2	75,62	
			R3	66,36	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	88,85	85,45
			R2	83,06	
			R3	84,45	
		Ponto 7	R1	53,89	61,39
			R2	66,57	
			R3	63,72	
		Ponto 8	R1	67,80	70,16
			R2	82,13	
			R3	60,54	
		Ponto 9	R1	93,06	91,23
			R2	84,64	
			R3	96,00	
		Ponto 10	R1	62,71	68,51
			R2	75,54	
			R3	67,26	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	55,91	60,27
			R2	69,28	
			R3	55,63	
		Ponto 12	R1	95,75	96,49
			R2	101,19	
			R3	92,54	

Apêndice B – Resistência Tênsil (RT, kPa,) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	RT	RT
Pousio	Terço Inferior	Ponto 13	R1	83,18	87,18
			R2	75,43	
			R3	102,92	
		Ponto 14	R1	68,16	57,50
			R2	59,34	
			R3	45,00	
		Ponto 15	R1	70,34	83,08
			R2	87,89	
			R3	91,00	
Milho	Terço Superior	Ponto 1	R1	89,49	88,95
			R2	86,98	
			R3	90,38	
		Ponto 2	R1	80,94	79,23
			R2	72,32	
			R3	84,41	
		Ponto 3	R1	110,89	114,61
			R2	115,35	
			R3	117,59	
		Ponto 4	R1	98,45	97,22
			R2	93,62	
			R3	99,60	
		Ponto 5	R1	67,96	65,74
			R2	67,18	
			R3	62,10	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	80,72	82,82
			R2	82,04	
			R3	85,70	
		Ponto 7	R1	74,08	75,61
			R2	74,85	
			R3	77,89	
		Ponto 8	R1	57,86	56,65
			R2	54,64	
			R3	57,46	
		Ponto 9	R1	90,72	92,28
			R2	93,16	
			R3	92,96	
		Ponto 10	R1	72,71	77,22
			R2	83,35	
			R3	75,59	

Apêndice B – Resistência Tênsil (RT, kPa,) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	RT	RT
Milho	Terço Inferior	Ponto 11	R1	90,61	90,71
			R2	84,79	
			R3	96,74	
		Ponto 12	R1	97,07	96,58
			R2	94,00	
			R3	98,66	
		Ponto 13	R1	102,81	92,60
			R2	87,83	
			R3	87,17	
		Ponto 14	R1	65,21	58,50
			R2	46,08	
			R3	64,22	
		Ponto 15	R1	80,40	88,49
			R2	77,49	
			R3	107,59	
Pastagem	Terço Superior	Ponto 1	R1	57,86	57,75
			R2	61,78	
			R3	53,60	
		Ponto 2	R1	72,80	86,62
			R2	103,51	
			R3	83,55	
		Ponto 3	R1	96,79	95,11
			R2	93,45	
			R3	95,09	
		Ponto 4	R1	152,69	146,90
			R2	155,63	
			R3	132,37	
		Ponto 5	R1	88,70	85,74
			R2	82,06	
			R3	86,47	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	86,72	87,82
			R2	86,96	
			R3	89,78	
		Ponto 7	R1	57,10	62,77
			R2	62,68	
			R3	68,53	
		Ponto 8	R1	71,49	89,63
			R2	97,17	
			R3	100,23	

Apêndice B – Resistência Tênsil (RT, kPa,) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	RT	RT
Pastagem	Terço Médio	Ponto 8	R1	71,49	89,63
			R2	97,17	
			R3	100,23	
		Ponto 9	R1	91,54	89,59
			R2	78,43	
			R3	98,80	
		Ponto 10	R1	73,49	87,16
			R2	80,48	
			R3	107,53	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	88,24	79,55
			R2	74,96	
			R3	75,43	
		Ponto 12	R1	90,12	95,22
			R2	108,03	
			R3	87,52	
		Ponto 13	R1	91,99	87,29
			R2	86,64	
			R3	83,26	
		Ponto 14	R1	73,33	75,25
			R2	77,17	
			R3	75,26	
		Ponto 15	R1	95,41	106,55
			R2	126,79	
			R3	97,45	

Apêndice C – Friabilidade (F) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS.

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	F	F
Pousio	Terço Superior	Ponto 1	R1	0,34	0,35
			R2	0,36	
			R3	0,34	
		Ponto 2	R1	0,39	0,40
			R2	0,40	
			R3	0,40	
		Ponto 3	R1	0,34	0,34
			R2	0,34	
			R3	0,35	
		Ponto 4	R1	0,32	0,34
			R2	0,34	
			R3	0,35	
		Ponto 5	R1	0,33	0,33
			R2	0,33	
			R3	0,33	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	0,42	0,44
			R2	0,51	
			R3	0,41	
		Ponto 7	R1	0,38	0,39
			R2	0,39	
			R3	0,40	
		Ponto 8	R1	0,37	0,34
			R2	0,34	
			R3	0,31	
		Ponto 9	R1	0,38	0,38
			R2	0,38	
			R3	0,37	
		Ponto 10	R1	0,34	0,36
			R2	0,34	
			R3	0,40	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	0,36	0,40
			R2	0,34	
			R3	0,48	
		Ponto 12	R1	0,38	0,36
			R2	0,33	
			R3	0,37	
		Ponto 13	R1	0,40	0,40
			R2	0,40	

Apêndice C – Friabilidade (F) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	F	F
Pousio	Terço Inferior	Ponto 13	R3	0,40	
		Ponto 14	R1	0,55	0,44
			R2	0,38	
			R3	0,41	
		Ponto 15	R1	0,36	0,36
			R2	0,35	
			R3	0,38	
Milho	Terço Superior	Ponto 1	R1	0,36	0,36
			R2	0,35	
			R3	0,36	
		Ponto 2	R1	0,37	0,37
			R2	0,37	
			R3	0,37	
		Ponto 3	R1	0,39	0,38
			R2	0,38	
			R3	0,37	
		Ponto 4	R1	0,38	0,37
			R2	0,38	
			R3	0,34	
		Ponto 5	R1	0,47	0,47
			R2	0,47	
			R3	0,47	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	0,35	0,35
			R2	0,34	
			R3	0,37	
		Ponto 7	R1	0,36	0,36
			R2	0,37	
			R3	0,33	
		Ponto 8	R1	0,43	0,44
			R2	0,45	
			R3	0,44	
		Ponto 9	R1	0,36	0,37
			R2	0,37	
			R3	0,37	
		Ponto 10	R1	0,38	0,39
			R2	0,39	
			R3	0,39	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	0,41	0,41

Apêndice C – Friabilidade (F) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	F	F
Milho	Terço Inferior	Ponto 11	R2	0,43	0,41
			R3	0,40	
		Ponto 12	R1	0,41	0,41
			R2	0,42	
			R3	0,41	
		Ponto 13	R1	0,41	0,41
			R2	0,41	
			R3	0,42	
		Ponto 14	R1	0,36	0,38
			R2	0,39	
			R3	0,38	
		Ponto 15	R1	0,43	0,39
			R2	0,43	
			R3	0,30	
Pastagem	Terço Superior	Ponto 1	R1	0,45	0,44
			R2	0,43	
			R3	0,43	
		Ponto 2	R1	0,32	0,34
			R2	0,31	
			R3	0,39	
		Ponto 3	R1	0,37	0,35
			R2	0,37	
			R3	0,31	
		Ponto 4	R1	0,41	0,39
			R2	0,39	
			R3	0,38	
		Ponto 5	R1	0,40	0,45
			R2	0,46	
			R3	0,49	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	0,38	0,37
			R2	0,36	
			R3	0,36	
		Ponto 7	R1	0,32	0,35
			R2	0,36	
			R3	0,37	
		Ponto 8	R1	0,38	0,38
			R2	0,39	
			R3	0,37	

Apêndice C – Friabilidade (F) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	F	F
Pastagem	Terço Médio	Ponto 9	R1	0,37	0,38
			R2	0,38	
			R3	0,40	
		Ponto 10	R1	0,38	0,43
			R2	0,37	
			R3	0,53	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	0,44	0,43
			R2	0,43	
			R3	0,43	
		Ponto 12	R1	0,33	0,44
			R2	0,63	
			R3	0,36	
		Ponto 13	R1	0,40	0,40
			R2	0,40	
			R3	0,40	
		Ponto 14	R1	0,37	0,37
			R2	0,40	
			R3	0,36	
		Ponto 15	R1	0,36	0,34
			R2	0,32	
			R3	0,35	

Apêndice D – Densidade do Solo (D_s , $Mg\ m^{-3}$) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS.

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	DS	DS
Pousio	Terço Superior	Ponto 1	R1	1,45	1,45
			R2	1,45	
			R3	1,46	
		Ponto 2	R1	1,51	1,56
			R2	1,61	
			R3	1,55	
		Ponto 3	R1	1,55	1,57
			R2	1,54	
			R3	1,60	
		Ponto 4	R1	1,61	1,56
			R2	1,55	
			R3	1,53	
		Ponto 5	R1	1,52	1,53
			R2	1,54	
			R3	1,54	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	1,59	1,56
			R2	1,53	
			R3	1,55	
		Ponto 7	R1	1,48	1,49
			R2	1,50	
			R3	1,49	
		Ponto 8	R1	1,56	1,56
			R2	1,55	
			R3	1,57	
		Ponto 9	R1	1,65	1,61
			R2	1,60	
			R3	1,58	
		Ponto 10	R1	1,51	1,52
			R2	1,53	
			R3	1,53	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	1,56	1,56
			R2	1,59	
			R3	1,54	
		Ponto 12	R1	1,65	1,64
			R2	1,67	
			R3	1,60	
		Ponto 13	R1	1,58	1,62
			R2	1,68	

Apêndice D – Densidade do Solo (D_s , $Mg\ m^{-3}$) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	DS	DS
Pousio	Terço Inferior	Ponto 13	R3	1,58	1,62
		Ponto 14	R1	1,47	1,52
			R2	1,50	
			R3	1,58	
		Ponto 15	R1	1,60	1,58
			R2	1,55	
			R3	1,60	
Milho	Terço Superior	Ponto 1	R1	1,66	1,63
			R2	1,61	
			R3	1,62	
		Ponto 2	R1	1,61	1,63
			R2	1,64	
			R3	1,63	
		Ponto 3	R1	1,70	1,70
			R2	1,70	
			R3	1,71	
		Ponto 4	R1	1,69	1,68
			R2	1,67	
			R3	1,70	
		Ponto 5	R1	1,60	1,59
			R2	1,58	
			R3	1,58	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	1,61	1,58
			R2	1,59	
			R3	1,54	
		Ponto 7	R1	1,49	1,54
			R2	1,51	
			R3	1,61	
		Ponto 8	R1	1,42	1,50
			R2	1,53	
			R3	1,54	
		Ponto 9	R1	1,64	1,65
			R2	1,65	
			R3	1,66	
		Ponto 10	R1	1,50	1,57
			R2	1,59	
			R3	1,62	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	1,59	1,61

Apêndice D – Densidade do Solo (D_s , $Mg\ m^{-3}$) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	DS	DS
Milho	Terço Inferior	Ponto 11	R2	1,60	1,61
			R3	1,65	
		Ponto 12	R1	1,74	1,70
			R2	1,66	
			R3	1,69	
		Ponto 13	R1	1,62	1,63
			R2	1,66	
			R3	1,61	
		Ponto 14	R1	1,54	1,44
			R2	1,34	
			R3	1,45	
		Ponto 15	R1	1,58	1,61
			R2	1,60	
			R3	1,64	
Pastagem	Terço Superior	Ponto 1	R1	1,66	1,65
			R2	1,67	
			R3	1,63	
		Ponto 2	R1	1,65	1,67
			R2	1,71	
			R3	1,65	
		Ponto 3	R1	1,73	1,72
			R2	1,69	
			R3	1,73	
		Ponto 4	R1	1,73	1,72
			R2	1,73	
			R3	1,71	
		Ponto 5	R1	1,70	1,67
			R2	1,64	
			R3	1,66	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	1,72	1,66
			R2	1,65	
			R3	1,62	
		Ponto 7	R1	1,65	1,64
			R2	1,67	
			R3	1,59	
		Ponto 8	R1	1,71	1,71
			R2	1,70	
			R3	1,74	

Apêndice D – Densidade do Solo (D_s , $Mg\ m^{-3}$) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	DS	DS
Pastagem	Terço Médio	Ponto 9	R1	1,69	1,68
			R2	1,62	
			R3	1,72	
		Ponto 10	R1	1,67	1,65
			R2	1,67	
			R3	1,60	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	1,65	1,60
			R2	1,55	
			R3	1,60	
		Ponto 12	R1	1,64	1,67
			R2	1,71	
			R3	1,66	
		Ponto 13	R1	1,64	1,65
			R2	1,66	
			R3	1,66	
		Ponto 14	R1	1,60	1,59
			R2	1,59	
			R3	1,57	
		Ponto 15	R1	1,75	1,72
			R2	1,70	
			R3	1,71	

Apêndice E – Porosidade Total (Pt, %) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS.

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	PT	PT
Pousio	Terço Superior	Ponto 1	R1	40,10	39,77
			R2	38,85	
			R3	40,36	
		Ponto 2	R1	36,88	39,78
			R2	40,63	
			R3	41,84	
		Ponto 3	R1	37,17	37,42
			R2	37,89	
			R3	37,21	
		Ponto 4	R1	34,67	38,80
			R2	43,69	
			R3	38,03	
		Ponto 5	R1	43,25	43,11
			R2	42,33	
			R3	43,74	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	39,85	38,23
			R2	37,95	
			R3	36,88	
		Ponto 7	R1	40,12	40,34
			R2	40,54	
			R3	40,37	
		Ponto 8	R1	42,51	41,69
			R2	40,53	
			R3	42,03	
		Ponto 9	R1	37,35	37,73
			R2	38,53	
			R3	37,32	
		Ponto 10	R1	34,59	38,25
			R2	39,74	
			R3	40,42	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	38,92	39,44
			R2	43,44	
			R3	35,95	
		Ponto 12	R1	35,60	34,81
			R2	33,03	
			R3	35,80	
		Ponto 13	R1	37,43	36,15
			R2	34,85	

Apêndice E – Porosidade Total (Pt, %) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	PT	PT
Pousio	Terço Inferior	Ponto 13	R3	36,16	36,15
		Ponto 14	R1	39,12	42,34
			R2	35,53	
			R3	52,36	
		Ponto 15	R1	43,96	42,01
			R2	41,16	
			R3	40,92	
Milho	Terço Superior	Ponto 1	R1	41,50	38,69
			R2	38,06	
			R3	36,51	
		Ponto 2	R1	38,28	36,28
			R2	37,11	
			R3	33,43	
		Ponto 3	R1	35,59	35,07
			R2	33,79	
			R3	35,83	
		Ponto 4	R1	31,75	32,54
			R2	31,90	
			R3	33,96	
		Ponto 5	R1	38,35	38,51
			R2	37,44	
			R3	39,75	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	36,00	37,25
			R2	37,81	
			R3	37,94	
		Ponto 7	R1	41,62	40,57
			R2	40,40	
			R3	39,71	
		Ponto 8	R1	21,77	33,04
			R2	36,00	
			R3	41,34	
		Ponto 9	R1	35,93	34,65
			R2	35,65	
			R3	32,37	
		Ponto 10	R1	39,35	39,86
			R2	39,92	
			R3	40,32	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	39,44	37,73

Apêndice E – Porosidade Total (Pt, %) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	PT	PT
Milho	Terço Inferior	Ponto 11	R2	36,73	37,73
			R3	37,02	
		Ponto 12	R1	37,41	34,47
			R2	39,07	
			R3	26,94	
		Ponto 13	R1	36,68	36,73
			R2	36,56	
			R3	36,96	
		Ponto 14	R1	40,49	43,14
			R2	45,85	
			R3	43,07	
		Ponto 15	R1	31,66	32,48
			R2	33,60	
			R3	32,18	
Pastagem	Terço Superior	Ponto 1	R1	36,33	37,07
			R2	38,36	
			R3	36,53	
		Ponto 2	R1	31,30	32,51
			R2	33,02	
			R3	33,20	
		Ponto 3	R1	33,99	30,21
			R2	32,37	
			R3	24,26	
		Ponto 4	R1	32,59	32,04
			R2	32,35	
			R3	31,18	
		Ponto 5	R1	35,10	36,38
			R2	38,78	
			R3	35,26	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	34,80	34,30
			R2	34,66	
			R3	33,44	
		Ponto 7	R1	35,10	36,40
			R2	39,24	
			R3	34,86	
		Ponto 8	R1	35,45	34,56
			R2	33,04	
			R3	35,19	

Apêndice E – Porosidade Total (Pt, %) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	PT	PT
Pastagem	Terço Médio	Ponto 8	R3	35,19	34,56
		Ponto 9	R1	32,66	30,67
			R2	34,81	
			R3	24,54	
		Ponto 10	R1	33,08	34,74
			R2	34,45	
			R3	36,69	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	34,90	34,36
			R2	34,56	
			R3	33,63	
		Ponto 12	R1	32,29	33,39
			R2	33,68	
			R3	34,18	
		Ponto 13	R1	39,31	33,74
			R2	33,37	
			R3	28,55	
		Ponto 14	R1	36,79	35,56
			R2	33,75	
			R3	36,13	
		Ponto 15	R1	33,21	33,84
			R2	33,16	
			R3	35,15	

Apêndice F – Macroporosidade (Ma, %) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS.

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	Ma	Ma
Pousio	Terço Superior	Ponto 1	R1	9,46	8,37
			R2	7,88	
			R3	7,77	
		Ponto 2	R1	8,95	10,04
			R2	10,62	
			R3	10,56	
		Ponto 3	R1	6,07	6,28
			R2	6,30	
			R3	6,46	
		Ponto 4	R1	7,99	7,48
			R2	7,70	
			R3	6,75	
		Ponto 5	R1	10,40	10,73
			R2	10,79	
			R3	10,99	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	8,07	8,31
			R2	7,75	
			R3	9,12	
		Ponto 7	R1	9,07	8,83
			R2	8,30	
			R3	9,12	
		Ponto 8	R1	13,79	12,72
			R2	13,00	
			R3	11,38	
		Ponto 9	R1	5,43	5,46
			R2	5,84	
			R3	5,10	
		Ponto 10	R1	9,21	8,37
			R2	7,98	
			R3	7,91	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	7,66	8,06
			R2	7,63	
			R3	8,89	
		Ponto 12	R1	6,43	6,69
			R2	6,43	
			R3	7,22	
		Ponto 13	R1	8,62	7,87
			R2	7,58	

Apêndice F – Macroporosidade (Ma, %) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	Ma	Ma
Pousio	Terço Inferior	Ponto 13	R3	7,40	7,87
		Ponto 14	R1	13,74	13,16
			R2	25,27	
			R3	12,59	
		Ponto 15	R1	8,39	8,37
			R2	8,93	
			R3	7,79	
Milho	Terço Superior	Ponto 1	R1	9,83	11,30
			R2	12,67	
			R3	11,39	
		Ponto 2	R1	6,63	7,50
			R2	8,69	
			R3	7,19	
		Ponto 3	R1	7,64	7,15
			R2	7,11	
			R3	6,71	
		Ponto 4	R1	6,58	6,89
			R2	6,66	
			R3	7,44	
		Ponto 5	R1	8,11	10,27
			R2	12,95	
			R3	9,74	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	8,57	8,52
			R2	8,95	
			R3	8,03	
		Ponto 7	R1	13,02	12,35
			R2	13,22	
			R3	10,82	
		Ponto 8	R1	5,86	5,75
			R2	5,78	
			R3	5,62	
		Ponto 9	R1	7,76	8,21
			R2	8,06	
			R3	8,82	
		Ponto 10	R1	11,64	11,47
			R2	11,71	

Apêndice F – Macroporosidade (Ma,%) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	Ma	Ma
Milho	Terço Médio	Ponto 10	R3	11,06	11,47
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	3,30	8,30
			R2	11,90	
			R3	9,69	
		Ponto 12	R1	8,47	7,43
			R2	7,20	
			R3	6,61	
		Ponto 13	R1	7,28	7,70
			R2	7,82	
			R3	8,02	
		Ponto 14	R1	9,43	11,02
			R2	11,09	
			R3	12,53	
		Ponto 15	R1	6,45	6,93
			R2	6,50	
			R3	7,83	
Pastagem	Terço Superior	Ponto 1	R1	9,59	8,97
			R2	8,06	
			R3	9,27	
		Ponto 2	R1	7,57	6,83
			R2	6,78	
			R3	6,13	
		Ponto 3	R1	3,46	4,33
			R2	4,81	
			R3	4,72	
		Ponto 4	R1	5,06	5,41
			R2	6,13	
			R3	5,05	
		Ponto 5	R1	7,28	7,21
			R2	7,72	
			R3	6,63	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	5,96	6,03
			R2	5,27	
			R3	6,85	
		Ponto 7	R1	7,66	7,65
			R2	7,82	
			R3	7,48	
		Ponto 8	R1	7,53	7,60

Apêndice F – Macroporosidade (Ma, %) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	Ma	Ma
Pastagem	Terço Médio	Ponto 8	R2	6,79	7,60
			R3	8,50	
		Ponto 9	R1	7,09	5,90
			R2	5,28	
			R3	5,32	
		Ponto 10	R1	6,91	7,65
			R2	7,21	
			R3	8,83	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	9,56	9,67
			R2	10,22	
			R3	9,24	
		Ponto 12	R1	3,43	3,70
			R2	4,42	
			R3	3,25	
		Ponto 13	R1	9,40	7,97
			R2	7,04	
			R3	7,46	
		Ponto 14	R1	8,32	10,00
			R2	11,47	
			R3	10,21	
		Ponto 15	R1	6,38	6,54
			R2	6,23	
			R3	7,02	

Apêndice G – Microporosidade (Mi, %) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS.

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	Mi	Mi
Pousio	Terço Superior	Ponto 1	R1	32,12	32,29
			R2	31,15	
			R3	33,60	
		Ponto 2	R1	34,30	33,07
			R2	31,71	
			R3	33,18	
		Ponto 3	R1	26,77	26,70
			R2	27,10	
			R3	26,22	
		Ponto 4	R1	25,21	30,43
			R2	35,82	
			R3	30,26	
		Ponto 5	R1	30,82	33,51
			R2	34,33	
			R3	35,37	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	29,28	29,42
			R2	30,78	
			R3	28,20	
		Ponto 7	R1	29,17	32,79
			R2	33,89	
			R3	35,32	
		Ponto 8	R1	33,43	32,85
			R2	32,23	
			R3	32,91	
		Ponto 9	R1	26,06	25,51
			R2	24,95	
			R3	25,50	
		Ponto 10	R1	30,91	31,98
			R2	32,56	
			R3	32,46	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	29,77	28,09
			R2	27,22	
			R3	27,27	
		Ponto 12	R1	25,38	25,14
			R2	10,26	
			R3	39,78	
		Ponto 13	R1	27,21	26,44
			R2	24,11	

Apêndice G – Microporosidade (Mi, %) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	Mi	Mi
Pousio	Terço Inferior	Ponto 13	R3	28,01	26,44
		Ponto 14	R1	35,33	34,15
			R2	33,58	
			R3	33,53	
		Ponto 15	R1	32,50	32,75
			R2	37,02	
			R3	28,73	
Milho	Terço Superior	Ponto 1	R1	30,71	31,36
			R2	30,33	
			R3	33,04	
		Ponto 2	R1	28,96	27,57
			R2	25,11	
			R3	28,65	
		Ponto 3	R1	31,66	27,39
			R2	25,40	
			R3	25,11	
		Ponto 4	R1	23,63	22,27
			R2	18,94	
			R3	24,22	
		Ponto 5	R1	31,71	29,38
			R2	30,45	
			R3	25,99	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	26,33	27,51
			R2	26,70	
			R3	29,50	
		Ponto 7	R1	35,76	34,82
			R2	34,62	
			R3	34,08	
		Ponto 8	R1	10,14	21,57
			R2	24,29	
			R3	30,29	
		Ponto 9	R1	27,36	26,13
			R2	26,70	
			R3	24,34	
		Ponto 10	R1	28,24	29,04
			R2	29,75	
			R3	29,12	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	30,97	30,31

Apêndice G – Microporosidade (Mi, %) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	Mi	Mi
Milho	Terço Inferior	Ponto 11	R2	29,54	30,31
			R3	30,41	
		Ponto 12	R1	34,11	26,17
			R2	27,16	
			R3	17,25	
		Ponto 13	R1	30,22	29,80
			R2	30,05	
			R3	29,13	
		Ponto 14	R1	31,06	32,12
			R2	34,75	
			R3	30,54	
		Ponto 15	R1	24,38	24,78
			R2	25,78	
			R3	24,17	
Pastagem	Terço Superior	Ponto 1	R1	29,06	29,86
			R2	30,64	
			R3	29,89	
		Ponto 2	R1	25,51	27,40
			R2	30,72	
			R3	25,99	
		Ponto 3	R1	28,94	24,80
			R2	26,24	
			R3	19,21	
		Ponto 4	R1	25,02	25,22
			R2	25,58	
			R3	25,05	
		Ponto 5	R1	27,84	28,18
			R2	28,21	
			R3	28,48	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	29,49	28,54
			R2	27,78	
			R3	28,34	
		Ponto 7	R1	25,74	23,02
			R2	27,61	
			R3	15,71	
		Ponto 8	R1	27,71	28,40
			R2	29,38	
			R3	28,13	

Apêndice G – Microporosidade (Mi, %) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	Mi	Mi
Pastagem	Terço Médio	Ponto 9	R1	27,58	28,80
			R2	32,45	
			R3	26,36	
		Ponto 10	R1	25,42	27,09
			R2	26,63	
			R3	29,22	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	30,41	29,01
			R2	27,52	
			R3	29,11	
		Ponto 12	R1	30,99	23,74
			R2	21,90	
			R3	18,34	
		Ponto 13	R1	23,66	24,17
			R2	22,94	
			R3	25,91	
		Ponto 14	R1	28,86	29,69
			R2	29,26	
			R3	30,94	
		Ponto 15	R1	25,51	26,40
			R2	27,52	
			R3	26,17	

Apêndice H – Resistência a Penetração (RP, MPa) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS.

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	RP	RP
Pousio	Terço Superior	Ponto 1	R1	1,07	1,52
			R2	1,90	
			R3	1,60	
		Ponto 2	R1	1,50	1,50
			R2	1,56	
			R3	1,43	
		Ponto 3	R1	1,98	1,97
			R2	1,99	
			R3	1,94	
		Ponto 4	R1	1,12	1,48
			R2	1,54	
			R3	1,78	
		Ponto 5	R1	1,66	1,60
			R2	1,41	
			R3	1,73	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	1,80	1,81
			R2	1,91	
			R3	1,73	
		Ponto 7	R1	1,41	1,49
			R2	1,95	
			R3	1,10	
		Ponto 8	R1	1,36	1,47
			R2	1,38	
			R3	1,67	
		Ponto 9	R1	2,14	1,85
			R2	1,46	
			R3	1,97	
		Ponto 10	R1	1,08	1,59
			R2	1,90	
			R3	1,78	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	1,56	2,03
			R2	1,88	
			R3	2,64	
		Ponto 12	R1	2,29	2,37
			R2	2,32	
			R3	2,50	
		Ponto 13	R1	2,02	2,12
			R2	2,49	

Apêndice H – Resistência a Penetração (RP, MPa) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	RP	RP
Pousio	Terço Inferior	Ponto 13	R3	1,84	2,12
		Ponto 14	R1	1,78	1,73
			R2	1,54	
			R3	1,87	
		Ponto 15	R1	2,31	1,92
			R2	1,60	
			R3	1,85	
Milho	Terço Superior	Ponto 1	R1	2,20	2,41
			R2	3,27	
			R3	1,76	
		Ponto 2	R1	2,62	2,55
			R2	2,38	
			R3	2,64	
		Ponto 3	R1	2,38	2,59
			R2	3,40	
			R3	1,99	
		Ponto 4	R1	2,67	2,89
			R2	3,05	
			R3	2,95	
		Ponto 5	R1	2,38	2,42
			R2	2,45	
			R3	2,41	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	1,55	1,96
			R2	1,78	
			R3	2,54	
		Ponto 7	R1	0,87	1,68
			R2	1,95	
			R3	2,22	
		Ponto 8	R1	1,84	2,01
			R2	2,27	
			R3	1,90	
		Ponto 9	R1	2,06	2,00
			R2	2,00	
			R3	1,93	
		Ponto 10	R1	1,59	1,80
			R2	1,71	
			R3	2,11	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	2,18	2,23

Apêndice H – Resistência a Penetração (RP, MPa) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	RP	RP
Milho	Terço Inferior	Ponto 11	R2	2,34	2,23
			R3	2,16	
		Ponto 12	R1	2,52	2,47
			R2	2,72	
			R3	2,16	
		Ponto 13	R1	2,07	2,34
			R2	2,08	
			R3	2,88	
		Ponto 14	R1	3,02	2,30
			R2	2,23	
			R3	1,64	
		Ponto 15	R1	2,50	2,50
			R2	2,17	
			R3	2,84	
Pastagem	Terço Superior	Ponto 1	R1	1,93	2,16
			R2	2,24	
			R3	2,29	
		Ponto 2	R1	2,51	2,71
			R2	2,52	
			R3	3,10	
		Ponto 3	R1	2,89	2,86
			R2	3,42	
			R3	2,28	
		Ponto 4	R1	2,82	2,74
			R2	2,74	
			R3	2,67	
		Ponto 5	R1	2,52	2,46
			R2	2,55	
			R3	2,32	
	Terço Médio	Ponto 6	R1	2,82	2,93
			R2	2,98	
			R3	2,99	
		Ponto 7	R1	2,35	2,41
			R2	2,71	
			R3	2,17	
		Ponto 8	R1	2,56	2,72
			R2	2,62	
			R3	2,97	

Apêndice H – Resistência a Penetração (RP, MPa) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Sistema de Uso	Topossequência	Pontos	Rep.	RP	RP
Pastagem	Terço Médio	Ponto 9	R1	3,12	2,95
			R2	2,76	
			R3	2,98	
		Ponto 10	R1	2,29	2,43
			R2	2,58	
			R3	2,43	
	Terço Inferior	Ponto 11	R1	2,80	2,62
			R2	2,48	
			R3	2,59	
		Ponto 12	R1	3,14	3,18
			R2	3,86	
			R3	2,52	
		Ponto 13	R1	3,10	3,00
			R2	2,70	
			R3	3,21	
		Ponto 14	R1	2,24	2,25
			R2	2,18	
			R3	2,33	
		Ponto 15	R1	2,54	2,73
			R2	2,70	
			R3	2,95	

Apêndice I – Carbono orgânico total (COT) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS.

Usos	Topossequências	COT (%)
Pousio	Terço Superior	1,40
		1,45
		1,16
		1,22
		1,48
	Terço Médio	1,28
		1,48
		1,49
		1,25
		1,47
	Terço Inferior	1,24
		1,19
		1,21
		1,36
		1,32
Milho	Terço Superior	1,40
		1,18
		1,15
		1,11
		1,20
	Terço Médio	1,14
		1,79
		1,11
		1,13
		1,24
	Terço Inferior	1,26
		1,22
		1,24
		1,37
		1,13
Pastagem	Terço Superior	1,54
		1,45
		1,19
		1,42
		1,47
	Terço Médio	1,28
		1,53
		1,33
		1,14

Apêndice I – Carbono orgânico total (COT) na camada de 0,00 a 0,10 m de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes usos, Pelotas, RS (Continuação).

Usos	Topossequências	COT (%)
Pastagem	Terço Médio	1,44
	Terço Inferior	1,50
		1,29
		1,46
		1,68
		1,47